

Zur Beleuchtung des Meteoritenproblems.

(Mit Bezug auf das durch A. Lacroix erschlossene indo-chinesische Tektitgebiet.)

(Mit 1 Textfigur.)

Von **Franz Ed. Sueß.**

I. Die Stellung der neuen Tektitvorkommen zu den bisher bekannten.

Alfred Lacroix, dem die Mineralogie und Geologie außer-europäischer Länder bereits so viel zu danken hat, berichtet über ein neues, von ihm entdecktes und durch ihn erschlossenes Fundgebiet von Tektiten.¹⁾ Es erstreckt sich über ganz Indochina und darüber hinaus. Wegen seines Flächenausmaßes, wegen der Dichte der Bestreuung und insbesondere wegen der Mannigfaltigkeit und Größe der dargebotenen Formen kann es an Bedeutung dem ausgedehntesten Tektitgebiete, dem australischen, gleichgestellt werden. Es eröffnet neue Ausblicke und regt an zur neuerlichen Prüfung der Besonderheiten der Tektitfrage, namentlich in ihrem Bezuge zur Frage der meteorischen Körper im allgemeinen.

Die umfassende, mit trefflichen Tafeln ausgestattete Abhandlung von Lacroix enthält eine vollständige Übersicht über die Tektitfrage in allen ihren Beziehungen. Die entschiedene Stellungnahme des berühmten Forschers zugunsten der kosmischen Abstammung der Tektite wird dazu beitragen, daß die Tektitfrage auch bei den Astronomen allgemeiner bekannt und mehr gewürdigt wird, als dies bisher geschehen ist.

Durch einen Zufall, durch die Wahrnehmung zweier Glas-
kugeln in einer Pflanzensammlung aus Indochina, war der Spürsinn von Lacroix zu weiteren Erkundigungen angeregt

¹⁾ A. Lacroix: Les Tectites de l'Indochine, Archive du Museum National d'Histoire Naturelle, S. Serie, Tome VIII, 1932, p. 193—236, Paris.

worden und im Verlaufe von zwei Jahren war es ihm gelungen, Tausende von Stücken von vielen Fundstellen des östlichen Hinterindien zustande zu bringen. Von den nördlichsten Fundpunkten bei Kai-Tscheu-Wang, nördlich der Insel Hai-nan bis zu den südlichsten bei Cambodge, erreicht das vielbestreute Fundgebiet eine Längenerstreckung von 1200 km. Quer über den Meerbusen von Cambodge dürfte es mit den vereinzelt Fundpunkten des malayischen Archipels und der Philippinen zu verbinden sein.

An den Fundorten, die zufällige Gelegenheiten in den größtenteils noch gänzlich unkultivierten und oft mit dichtem Urwalde bedeckten Landstrecken bekannt gemacht haben, sind die Stücke, ebenso wie im malayischen Archipel und in Australien, unabhängig von der Beschaffenheit des Untergrundes, über die Oberfläche ausgestreut oder in die Alluvien eingebettet; wenn sie nicht örtlich verschwemmt und dann auch oft zu Nestern angehäuft worden sind.

Das Glas ist im auffallenden Lichte tief schwarz und nur an den Kanten bräunlich durchscheinend. Es gleicht hierin den malayischen und australischen Vorkommen und unterscheidet sich dadurch auffällig von den stets klar durchsichtigen, hellbraunen bis hellgrünen Moldaviten. Die hellgrünen Stücke herrschen in den böhmischen, die bräunlichen in den mährischen Fundgebieten; beide unterscheiden sich aber nur wenig im Grade der Durchsichtigkeit. Erst mehr als fingerdickes Moldavitglas erscheint undurchsichtig. Damit wird auch dem freien Auge offenbar, daß der höhere Gehalt an Kieselsäure, den die Analysen angeben, auf alle Stücke, das ist auf die gesamte Glasmasse der Moldavite zu beziehen ist, und daß diese in stofflicher Hinsicht von den außereuropäischen Vorkommen klar geschieden sind. Die durch die schlierige Beschaffenheit der Gläser ausgedrückten Schwankungen im Siliciumgehalte sind gering im Vergleiche zu diesem bedeutenden Abstände.

Um so bemerkenswerter ist die große Ähnlichkeit der Gestalten und der Skulpturen mit denen der Moldavite; zumal die bisher bekannten außereuropäischen Tektite auch in dieser Hinsicht von den Moldaviten auffällig unterschieden waren. Das ausgedehntere Fundgebiet liefert größeren Formenreichtum und auch einzelne größere Stücke.

Zu den größten gehören zwei durch *Scrivenor* (22) beschriebene, kugelige Tektite aus dem Staate Panhang auf der malayischen Halbinsel mit 464 und 316 g. Der allergrößte aber, von dem wir Kunde haben, war die „Obsidiankugel aus Indien“, die nach der Meldung von *Damour* beim Zerschneiden explodierte, und deren einstiges Gewicht von *Lacroix* nach dem verbleibenden Bruchstücke auf mehr als 750 g geschätzt wird. Der größte mir bekannt gewordene Moldavit (von *Trebitsch*) wiegt 121 g.

Lacroix hat die Wiederkehr der gleichartigen Grundgestalten in beiden Gebieten hervorgehoben und an vielen Beispielen aufgezeigt. Was aus seinen Beschreibungen und den vortrefflichen Tafeln seiner Arbeit zu entnehmen ist, finde ich bestätigt an den von ihm mir freundlichst zugesandten Stücken von drei weit voneinander entfernten Fundorten: von der Insel Tan-hai, vom Plateau Lang Bian, Annam und vom Fuße der Danguk-Ebene von Nord-Cambodge.

Ich bin Herrn *Lacroix* dafür zu besonderem Danke verpflichtet; denn ebenso lehrreich wie der Eindruck der Gleichartigkeit der Stücke von so weit voneinander gelegenen Fundpunkten ist der Vergleich ihrer Gesamtmerkmale mit denen der Moldavite.

Die tiefschwarze Oberfläche mit dem lebhaften Lackglanze gleicht der vieler mährischer Moldavite. Unter diesen sind auch die geschlossenen Formen, die ei- und kugelförmigen, die ovalen und birnförmigen Gestalten, die Zapfen usw. am häufigsten anzutreffen. Wenn sie mit wenigen unregelmäßig verteilten ovalen Gruben bedeckt sind, werden die Stücke einander besonders ähnlich. Die mit flachen Näpfchen überdeckten Scherben auf Taf. IX und X bei *Lacroix* gleichen sehr vielen Stücken des *Trebitscher* Gebietes. Auch dort findet man häufig ungleichen Grad der Korrosion auf verschiedenen Flächen. Die scherbenförmigen Bruchstücke herrschen im böhmischen Gebiete; auch gezerzte Tropfen mit gestreckten, gewundenen oder verdrehten Schlierenstreifen, auch durch Korrosion herausgearbeiteten, zu schmalen Hohlräumen verzogenen Blasen und größere, glattgewölbte Blasenräume sind dort ebenso vertreten wie im indochinesischen Gebiete. (Man vergleiche zum Beispiel den Scherben Fig. 8, S. 261 in „Die Herkunft der Moldavite“ mit Taf. V; Fig. 2, bei *Lacroix*, die gestreckten Blasenräume Fig. 28 und 29, S. 304 mit Taf. IX, Fig. 1 und 4, den Wulst Fig. 32, S. 311

mit L., Taf. VII, Fig. 5, und insbesondere die offenen Blasenräume Fig. 33 und 34 mit Taf. V, Fig. 3, 4 und 5, Taf. VI, Fig. 1 bis 5 bei Lacroix.) Es gibt in Indochina nicht die tief und scharfkantig zerhackten Formen, die im Budweiser Gebiete häufig sind. Überhaupt sind die indochinesischen Stücke weniger entstellt durch die Korrosion und deshalb bleiben, wie Lacroix hervorhebt, die ursprünglichen Gestalten besser kenntlich, so daß sie einige Schlüsse gestatten über die Form der aufgeschmolzenen Fladen, über Deformationen beim Aufschlagen auf den festen Grund, über die Krümmung eines ausgezogenen Schweifes beim Erstarren des Restes, u. a.

Man darf schließen, daß bei dem Niedersturze der glühenden Glasschlacken über Südböhmen im kleineren Maßstabe das gleiche geschehen ist, wie bei dem über Indochina.

Von den Australiten kann man nicht das gleiche behaupten. Niemals erreichen sie die Größen der anderen Tektitarten. Nur ganz ausnahmsweise findet man größere Scherben. Fast immer bilden sie klar umgrenzte Rotationsformen, von kreisrunder oder glockenschwengelförmiger, sanduhrförmiger Gestalt. Dies zeigt, in Verbindung mit dem selten fehlenden Rückstauwulst und sonstigen Einzelheiten, daß die Australite nicht in Form zäher Fladen, sondern als recht dünnflüssige Tropfen von meist recht geringer Größe ihren Weg durch die Luft zurückgelegt haben. Es scheint auch, daß sie in dem über 3000 km langen Streuungsfelde an keinem Orte so dicht gehäuft sind, wie die Moldavite, die Billitonite und die Indochinite in ihren Hauptfundgebieten.²⁾

Hievon soll noch später die Rede sein.

²⁾ L. I. Spencer (The origin of Tektites, Nature vol. 131, 1933, p. 117) hat die Meinung geäußert, daß die Tektite durch Aufschmelzen der beim Niedersturz großer meteorischer Massen erhitzten Gesteine entstanden sein könnten. Nur für die Darwin-Gläser in Tasmanien wäre vielleicht dieser Gedanke nicht schon bei der ersten Überlegung abzuweisen; denn sie besitzen nicht eine so gleichförmige Verbreitung über so große Strecken. Dazu kommen noch, als vielleicht in diesem Sinne verwertbare Eigenheiten: ihre abweichende chemische Zusammensetzung, die der eines quarzitischen Sandsteines sehr ähnlich ist, und die schlackenfetzenähnlichen, blasenreichen Formen, die an Fulgurite erinnern und im Gegensatz zu den knopfförmigen Australiten und fladenförmigen Tektiten von Indochina keine Anzeichen eines Fluges durch die Luft darbieten. Wo sie auf Kalkstein liegen, müßte eine Streuung von der entfernteren Aufschlagstelle her angenommen werden. Ein Umstand stellt sich aber entschieden dieser Deutung entgegen; auch die Darwin-Gläser sind so wie die anderen Tektite stets vollkommen klare

Schmelzen. Wenn sie durch Aufschmelzen an Ort und Stelle entstanden wären, müßten an ihnen doch stellenweise, so wie in Fulguriten, Verunreinigungen durch Reste des verschmolzenen Gesteines wahrzunehmen sein.

Es sei hier daran erinnert, daß A. F. Rogers die Entstehung eines blasigen, klaren bis durchscheinend weißen Silikatglases, dem er den von Lacroix geschaffenen Namen „Lechatelierit“ beilegt, am Grunde des Meteorokraters von Arizona, durch Schmelzen eines Sandsteines beim Aufschlagen des Canyon diable Meteoriten glaubhaft gemacht hat. (A unique occurrence of Lechatelierite or Silica Glass. American Journal of Sc. New Haven XIX, 1930, S. 194.)

Australite.

	1	2	3	4	5	6	7
Si ₂ O	72.39	76.25	77.72	71.22	70.62	69.80	73.59
Al ₂ O ₃	13.12	11.30	9.97	13.52	13.48	15.02	12.35
Fe ₂ O ₃	0.42	0.35	0.32	0.77	0.85	0.40	0.38
FeO	4.48	3.88	3.75	5.30	4.44	4.65	3.79
MgO	1.87	1.48	1.59	2.33	2.42	2.47	1.80
CaO	3.17	2.60	2.40	3.52	3.09	3.20	3.76
Na ₂ O	1.54	1.23	1.29	1.48	1.27	1.29	1.03
K ₂ O	1.92	1.82	1.96	2.28	2.22	2.56	1.93
H ₂ O +	0.11	0.32	0.15	—	0.01	nicht best.	0.27
H ₂ O —	0.02	0.02	0.04	—	0.06	nicht best.	0.53
CO ₂	0	0	0	—	0	—	—
TiO ₂	0.72	0.65	0.36	—	0.30	0.30	0.70
P ₂ O ₅	0	0	0	—	0	0	0
MnO	0.05	0.06	Sp.	0.28	0.42	0.18	0.15
Si ₁ O	starke Sp.	starke Sp.	starke Sp.	—	starke Sp.	starke Sp.	—
SrO	0	0	0	—	—	0	schwache Sp.
BaO	0	0	0	—	—	?	schwache Sp.
Cl ₂	0	0	0	—	Sp.	—	—
SO ₂	0	0	0	—	Sp.	?	0
Cr ₂ O ₃	?	0	?	—	—	—	—
NiO	0.06	0.08	Sp.	—	Sp.	?	0
CaO	Sp.		Sp.	—	Sp.	—	—
ZrO ₂	—	—	—	—	—	?	0.01
Summe	99.91	99.99	100.05	100.75	99.75	100.37	100.29
Sp. Gw.	2.427	2.398	2.385	2.433	2.454	2.454	2.428

1. In der Nähe vom Mt. Elephant, Victoria, G. Ampt. 1908.

2. Bei Hamilton, Victoria, Ampt. 1908.

3. Peake Station bei Lake Eyre. South Australia, Ampt. 1908.
4. Zw. Everard Range und Fraser Range, South Australia. C. v. John, 1900.
5. Bei Coolgardie, Western Australia. E. S. Simpson, 1912.
6. Upper Weld. Tasmania. W. F. Hillebrand, 1905.

Billitonite.

	8	9	10	11
Si O ₂	71·14	70·92	70·28	70·30
Al ₂ O ₃	11·99	12·20	12·67	12·77
Fe ₂ O ₃	—	1·07	0·21	0·53
Fe O	5·29	5·42	5·28	5·43
Mn O	0·32	0·14	0·19	0·13
Ca O	2·84	3·78	3·92	2·37
Mg O	2·38	2·61	2·62	3·74
Na ₂ O	2·45	2·46	1·71	1·73
K ₂ O	2·76	2·49	2·32	2·48
Ti O ₂	Sp.	—	1·10	0·50
H ₂ O +	—	—	0·05	—
H ₂ O —				0·08
P ₂ O ₅				0·06
S ₂				0·08
Ba O				0·01
	99·17	101·09	100·35	100·21

8. Suro Mèjn. Dendang. Billiton. Brunck. 1897.
9. Tebrung. Dendang. Billiton. John. 1900
10. Billiton., M. Ravult. Lacroix. Les tectites de l'Indochine. 1932.
11. Dendang. Billiton. E. Dittler, 1933.

Tektite von Malaisien und Insulinde, Philippinen.

	12	13	14	15	16	17
Si O ₂	70·08	70·90	69·32	71·64	70·88	69·80
Al ₂ O ₃	13·51	13·50	12·27	12·53	12·33	14·30
Fe ₂ O ₃	0·15	0·32	0·06	—	1·30	0·15
Fe O	4·81	5·47	6·81	5·32	4·32	5·65
Mn O	0·15	—	0·09	0·10	Sp.	Sp.
Mg O	2·16	2·45	4·05	2·79	2·62	3·20
Ca O	3·48	2·35	3·72	3·42	3·97	2·61
Na ₂ O	1·99	1·46	0·77	1·21	1·61	1·16
K ₂ O	2·44	2·17	2·18	2·28	2·39	1·90
Ti O ₂	0·79	1·00	1·01	0·98	0·86	1·00
H ₂ O +	—	—	0·14	0·19	0·18	—
H ₂ O —	0·08	—	0·11	Sp.	—	—
	99·74	99·62	100·53	100·46	100·36	99·77

- 12. Malayische Halbinsel (Bombe Damour). M. Raoult, 1932.
- 13. Tutong. Borneo. M. Müller.
- 14. Matrapocera Borneo, M. Raoult, 1932.
- 15. Rosario (Philippinen), M. Raoult, 1932.
- 16. Polo, Provinz Bulacan, Philippinen. Hodge-Smith, 1932 (11).
- 17. Singapore-Museum. Scrivenor, 1916.

Tektite von Indochina.

	18	19	20	21	
SiO ₂	72·08	70·40	72·26	70·58	18. Smach (Cambodge). 19. Attapen (Laos). 20. Dan-Kia (Annam). 21. Insel Tan-hai. } M. Raoult, 1932.
Al ₂ O ₃	13·21	13·65	13·18	13·23	
Fe ₂ O ₃	0·37	0·17	—	0·10	
FeO	4·47	5·13	5·32	5·08	
MnO	0·13	0·15	0·10	0·13	
MgO	1·92	1·94	2·15	1·92	
CaO	2·42	3·00	2·42	3·92	
Na ₂ O	1·61	1·57	1·43	1·43	
K ₂ O	2·80	2·72	2·15	2·59	
TiO ₂	0·78	1·03	0·99	0·99	
H ₂ O +	0·13	—	0·14	0·20	
H ₂ O —	0·13	0·16	0·06	—	
	100·05	99·92	100·20	100·7	

Moldavite.

	22	23	24	25	26	27	28	29	30
SiO ₂	82·28	77·75	77·69	82·68	78·61	77·96	77·78	80·52	80·00
Al ₂ O ₃	10·08	12·90	12·78	9·56	12·01	12·20	11·56	9·44	10·04
Fe ₂ O ₃	—	—	2·05	—	0·16	0·14	—	—	—
FeO	2·03	2·60	1·45	1·13	3·09	3·36	2·54	1·98	2·27
MnO	—	—	—	0·18	0·11	0·10	0·15	0·09	0·06
MgO	0·98	0·22	1·15	1·52	1·39	1·48	1·52	1·73	1·46
CaO	2·24	3·05	1·26	2·06	1·62	1·94	1·34	1·84	1·76
Na ₂ O	0·28	0·26	0·78	0·63	0·44	0·61	0·68	0·52	0·51
K ₂ O	2·20	2·58	2·78	2·28	3·06	2·70	3·26	3·15	3·37
TiO ₂	—	—	—	—	—	—	1·40	0·72	0·74
Glühverlust	0·06	0·10	—	—	—	—	+	0·11	0·10
	—	—	—	—	—	—	—	0·05	0·05
Summe	100·15	99·46	99·94	100·04	100·49	100·49	100·23	100·15	100·36

22—24. Radomilitz bei Budweis. C. v. John, 1889.

25. Budweis.

- 26—27. Trebitsch, Mähren. C. v. John, 1899.
 28. Skrey-Dukowan, Mähren. E. Ludwig, 1910.
 29. Trebitsch, Mähren.
 30. Radomilitz bei Budweis. } M. Raoult, 1932.

Darwin - Glas.

	31	32	33	34	
Si O ₂	88·764	89·813	87·00	86·34	31—32. Mont Dararin. E. Ludwig, 1914.
Al ₂ O ₃	6·127	6·207	8·00	7·82	33—34. Mont Dararin G. A. Ampt, 1927.
Fe ₂ O ₃	—	0·258	0·19	0·63	
Fe O	1·238	0·895	1·93	2·08	
Mn O	Sp.	Sp.	—	—	
Mg O	0·575	0·727	0·82	0·92	
Ca O	0·174	—	—	0·05	
Na ₂ O	0·129	0·010	0·14	0·15	
K ₂ O	1·363	1·054	0·99	0·87	
Ti O ₂	1·240	0·857	0·51	0·52	
H ₂ O +			} 0·36	0·43	
H ₂ O —				0·03	
	99·610	99·821	99·94	99·93	

*

Der chemische Grundtypus der Tektite wird in dem neuen Gebiete mit bemerkenswerter Strenge festgehalten. Die neuen von Lacroix angegebenen Analysen sind auf Tafeln zwischen älteren bekannten Analysen eingefügt. Die Ziffern für die Tektite aus Indochina und aus Malaisien stehen im ganzen zwischen den bereits früher bekannten Ziffern für die Australite und die Billitonite; mit dem gleichen, für die hohe Kieselsäurestufe recht bedeutendem Tonerdegehalte, mit dem relativ hohen Gehalte an Magnesia und besonders mit dem kennzeichnenden Ansteigen des Kaliums zugleich mit dem Calcium. Das gleiche gilt für die durch Scrivenor bekannt gewordenen Analysen der beiden großen Glaskugeln von Malakka.

Auf verschiedene Weise sind die Gauverwandtschaften der Tektitarten und ihre Sonderstellung gegenüber den irdischen Magmen graphisch veranschaulicht worden. Eine Dreieckprojektion nach Osann-Becke zeigte (1914, 25), wie die Analysenpunkte der Tektite wegen des höheren Gehaltes an Eisen und Magnesia bei gleichem Gehalte an Kieselsäure von den Analysen

der irdischen Magmen gegen die F-Ecke des Dreieckes abrücken und wie zugleich die entsprechenden Projektionspunkte in dem den Silikatgehalt anzeigenden Diagramme im Vergleiche zu den Punkten der irdischen Magmen bei ähnlichen Metallverhältnissen hoch über die Sättigungsgrenze gehoben sind. Zum Nachweise der chemischen Gauverwandtschaft der verschiedenen Tektitgruppen war bereits 1900 (24) ein Differentiationsdiagramm verwendet und später an einer vollständigeren Analysenreihe 1914 (25) wiederholt worden. Die neuen von Lacroix beigegebenen Analysen indochinesischer und malayischer Tektite vergrößern zwar die Variationsbreite der früher bekannten Analysenreihe außereuropäischer Tektite sowohl nach den basischen wie nach dem sauren Ende hin: sie ändern aber nicht das für die chemische Kennzeichnung der Tektite maßgebende Gesamtbild und es kann deshalb hier von einer Wiederholung der Diagramme abgesehen werden. Aber gerade diese wunderbare Gleichförmigkeit ist von größter Bedeutung für das Tektitproblem.³⁾

Lacroix hat die Sonderstellung der Tektitanalysen gegenüber den irdischen Erstarrungsgesteinen durch die Berechnung auf den möglichen Mineralbestand veranschaulicht. Sie ergibt eine Menge von Anorthit, die bei gleichem Gehalt an freier Kieselsäure und an Orthoklas in irdischen Magmen nur ganz ausnahmsweise vorkommen kann. Er besagt im Wesen das gleiche, das früher in einer Dreieckprojektion der Oxyde von Natrium, Kalium und Calcium dargestellt worden ist.

Eine mögliche Erklärung für diese chemische Sonderstellung gegenüber den irdischen Gläsern bietet die umständlichere Vorgeschichte, die saure Magmen auf der Erde bis zu ihrer Erstarrung durchzumachen haben. Sie ist wiederholt und mit verschiedenen Auffassungen über die Einzelheiten des Verlaufes dargelegt wor-

³⁾ Es wird hier auch abgesehen von anderen Glasfunden, deren versuchte Zuordnung zu den Tektiten anzuzweifeln ist. (G. Linck: Ein neuer kristallführender Tektit von Paucartambo in Peru. *Chemie der Erde*, II, 1926, S. 157. — O. Stützer: Kolumbianische Glasmeteoriten. *Centralblatt für Mineralogie usw.*, Abt. A, 1926, S. 137, und 1928, S. 35.) Diese Körper sind in ihrer chemischen und sonstigen Beschaffenheit und nach der Art ihres Vorkommens zu verschieden von den unzweifelhaften Tektiten, als daß für sie bloß aus der Ähnlichkeit mit den anderen Vorkommen die kosmische Herkunft erschlossen werden könnte. Er müßte für sie erst mit besonderen Gründen erwiesen werden. Vor allem ist der Wassergehalt der kolumbianischen Gläser nicht vereinbar mit der anzunehmenden Entstehungsgeschichte der anerkannten Tektite.

den. Aber darüber herrscht Übereinstimmung, daß die sauren Endglieder der irdischen Magmen durch eine mehrfach abgestufte Kristallisationsdifferentiation aus basischeren Silikatschmelzen abgeschieden wurden. Aus dem umfangreichen Schrifttume über diesen Gegenstand mögen hier nur die grundlegenden Arbeiten von N. L. Bowen (3) und J. H. L. Vogt (26, 27) besonders genannt sein.

Die Oxyde von Eisen, Calcium und Magnesium, und auch von Titan kristallisieren aus irdischen Magmen auf einer frühen Abkühlungsstufe. Mit Annäherung an das silikatreiche, cektische Gemenge, wie in den Graniten, kristallisiert Plagioklas früher als Orthoklas. Wegen der ähnlichen Atomabstände in den Kristallarten wird in den irdischen Magmen das Natrium mit dem Calcium in die Mischkristalle abgezogen. In Magmen einer Kieselsäurestufe des Tektitbereiches, schon in Graniten mit 74 bis 76% SiO_2 , kann auf der Erde nur mehr ein äußerst geringer Gehalt von MgO und CaO verbleiben.

Wie immer auch der glasige Schmelzfluß der Tektite entstanden sein mag, — durch Erstarrung auf einem Weltkörper von verhältnismäßig geringer Größe, wie die meteorischen Steine und Eisen, oder erst während des Absturzes in der irdischen Atmosphäre, — er hat keinesfalls den umständlichen Vorgang einer Kristallisationsdifferentiation in einem dem irdischen vergleichbaren Schwerefelde durchgemacht. Das Fehlen der für die magmatischen Gesteine kennzeichnenden stöchiometrischen Beziehung zwischen den Stoffen bedingt die Ähnlichkeit der Tektitanalysen mit den Analysen mancher Sedimente, insbesondere mit denen mancher quarzitischer Sandsteine, worin insbesondere Berwerth ein Argument für den künstlichen Ursprung der Tektite finden wollte. Die in irdischen Magmen bemerkbare Gesetzmäßigkeit der Stoffverteilung ist hier nicht zu erwarten; und es vereinigen sich der für die Kieselsäurestufe bedeutende Gehalt an Magnesia, und insbesondere auch an Titan, der hohe Gehalt an Calcium und Kalium bei verhältnismäßig geringer Natronmenge und dazu noch der auffällig hohe Tonerdeüberschuß zu einer Stoffmischung von fremdartiger, man kann sagen unirdischer Abtönung.

Zur Erläuterung der chemischen Beziehungen der Tektitarten untereinander wurden schon im Jahre 1900, und dann auf Grund besserer Angaben neuerdings im Jahre 1914 die vorhandenen

Analysen in einem Differentiationsdiagramm zusammengefaßt. Es zeigt sich dort, wie trotz der alle Tektite umfassenden Gauverwandtschaft die Striche der Metallziffern der einzelnen Analysen in den bestimmten Strecken der Linie des von links nach rechts ansteigenden Kieselsäuregehaltes zu Gruppen vereinigt sind. (S. Lit. 23, Taf. III.)

Weit abgerückt und durch einen großen Abstand von den Moldaviten getrennt sind die Darwin-Gläser. Auf der anderen Seite, — links von den Moldaviten, — steht die große Hauptmasse der australischen und malayischen Tektite und nur eine, gleichsam versprengte Analyse eines Australits (3 von Lake Eyre) überschreitet randlich den Bereich der Moldavite. Mit dem höheren Tonerdegehalte, dem höheren Kaligehalte und überhaupt mit dem verschobenen Kalk-Alkaliverhältnisse beginnt hier mit den Moldaviten offenbar eine neue Differentiationsreihe.

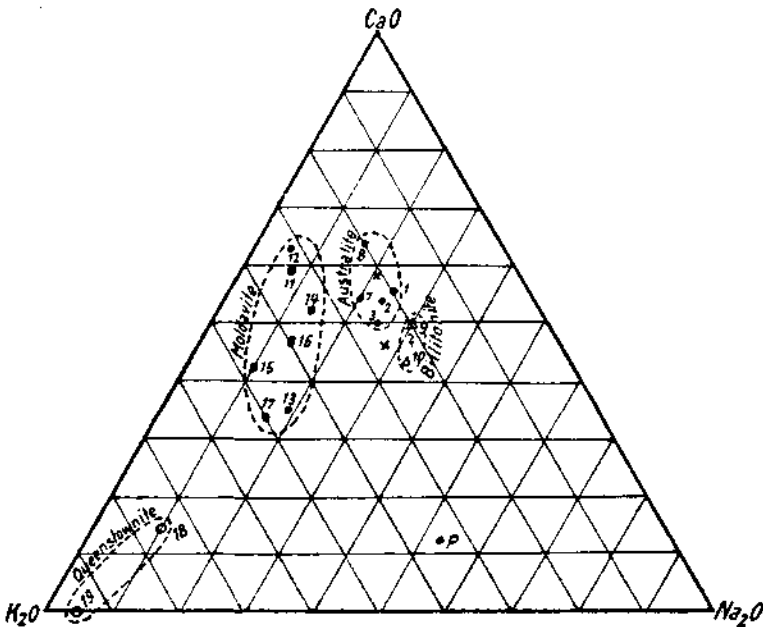


Fig. 1.

Das Alkali-Kalkverhältnis der Tektite nach F. E. Sueß (25) und E. Dittler (7). — Neuere Analysen von Billitoniten im Bereiche der Australite nach M. Raoult, 1932 und darunter nach E. Dittler, 1933. — (P Tektit Paucasrambo, Peru, nach G. Linck.)

Die beiden im Jahre 1914 vorhandenen Analysen typischer Billitonite zeigten ein auffälliges Zurücktreten der tektitischen Merkmale; sie ergaben einen höheren Alkaligehalt, insbesondere einen höheren Gehalt an Natron, und damit entfällt auch der für die Tektite bezeichnende Tonerdeüberschuß. Wegen dieser Sonderstellung wurden die Billitonite einer dritten, besonderen Gruppe der Tektite zugeteilt. Lacroix empfahl vorsichtige Zurückhaltung in der Verwertung dieser Analysen und eine durch ihn veranlaßte neuerliche Untersuchung durch Raoult ergab wieder einen nahen Anschluß an die übrigen Tektite des fernen Ostens. Da die beiden älteren Analysen, von Brunck in Freiberg und von John in Wien untereinander gut übereinstimmen, schien die Frage nicht ganz sichergestellt. Deshalb hat Herr Prof. Dittler noch eine weitere Analyse eines Billitoniten durchgeführt (7); das Ergebnis stimmt nahe überein mit dem der Analyse von Raoult. Auch hier ist ein Tonerdeüberschuß vorhanden, aber es bleibt doch immerhin bemerkenswert, daß im Kalk-Alkali-Dreieck (Fig. 1) dieser Analysenpunkt in die Richtung der älteren Analysen abrückt. Es bleibt vielleicht doch noch die Möglichkeit offen, daß die Schlieren im Glase örtliche Ungleichmäßigkeiten der Zusammensetzung mit sich bringen. Noch weitere Analysen wären wünschenswert.

II. Allgemeinere Fragen über Tektite.

Die Deutung der Tektite als Körper außerirdischer Herkunft erscheint gegenwärtig allgemein anerkannt und genügend gefestigt. Es gibt nur mehr wenige Zweifler und ernste Gegengründe werden nicht mehr geäußert. Aber die Erschließung der neuen großen Fundstrecken bietet Anlaß zur neuerlichen Erwägung einiger mit dem Anschlusse an die allgemeine Meteoritenkunde zu verbindenden Hauptfragen.

1. Entsprechen die Tektite der einzelnen Fundgebiete verschiedenen Ereignissen oder gehören sie alle zu einer einzigen über ein Viertel des Erdumfanges ausgedehnten Absturzzone?

2. Auf welche Weise sind, in Bezug auf ihre Herkunft, die Tektite mit den meteoritischen Steinen und Eisen in Beziehung zu bringen?

3. Kann man ihnen gleichen Ursprung zuschreiben wie diesen und vermögen sie etwas beizutragen zu der noch

unentschiedenen Frage nach der kosmischen oder planetarischen Herkunft dieser Körper?

Die letzte Frage wird hier in den besonderen dritten Abschnitt über die Herkunft und Geschichte der Meteoriten mit aufgenommen.

1. Der Umstand, daß die Tektite der einzelnen Fundgebiete auch nach ihrer chemischen Zusammensetzung und in ihren Formen voneinander klar zu unterscheiden waren, mußte zu dem Schlusse führen, daß jede der Tektitgruppen von einem besonderen Ereignisse herrühre. Die überraschende Erschließung des indochinesischen Gebietes ist wohl geeignet, das Urteil über die Gesamterscheinung abzuändern. Mit der Ausdehnung von der Wurzel der hinterindischen Halbinsel über Borneo bis in die Philippinen scheinen sich die Fundgebiete zu einem ungeheuren Streufelde zu verbinden, dem ebenso die über 4000 km lange, australische, wie die über 1200 km nordwärts gestreckte indochinesische Zone angehört. Die Analysen von Fundstücken aus weit voneinander entfernten Gebieten Indochinas, Malaisiens und der Philippinen gruppieren sich nahe um die älteren Analysen der Australite. Ein unregelmäßiges Schwanken der Ordinatenpunkte im Variationsdiagramme verhindert das Durchziehen einheitlich fortlaufender Linien. Darin mag die schierige Beschaffenheit der Gläser zum Ausdruck kommen. Die neuen Analysen der Moldavite bleiben aber, so wie die alten, auf einer von den übrigen Tektitanalysen abgesonderten Strecke versammelt. (Siehe Seite 125, Variationsdiagramm.)

Dagegen scheint der Formenkreis der indochinesischen Stücke einen Anschluß an die Moldavite zu vermitteln. Schon oben wurde hervorgehoben, daß die neuen Funde eine Verbindung des asiatischen Formenkreises mit dem der Moldavite herstellen: denn unter ihnen finden sich einerseits an die Billitonite und Australite erinnernde, geschlossene Formen und anderseits auch die für die Moldavite kennzeichnenden Scherben, Zapfen und aufgebrochenen Blasen. Da die Hauptfundgebiete zu einer Zone über einem größten Kreise des Erdballes angeordnet erscheinen, erwägt Lacroix die Möglichkeit, daß die sämtlichen sichergestellten Tektite von einem einzigen Falle herkommen. An den beiden Enden der Streuzone eines vorbeiziehenden Boliden sollen die sauersten Glieder einer Differentiationsreihe ab-

gesprengt worden sein. Zugleich aber betont Lacroix, daß zur Bestätigung dieser Annahme erst die Gleichzeitigkeit der verschiedenen Fälle zu erweisen wäre. „La solution de ce problème d'événements cosmiques se résume donc dans une question de stratigraphie terrestre.“

Die Gleichzeitigkeit ist in der Tat recht zweifelhaft. Die Australite werden zum guten Teile an der Oberfläche frei liegend aufgefunden; die Billitonite liegen in vermutlich altdiluvialen Zinnseifen. Die Lagerstätten der Moldavite sind gewisse, unregelmäßig verteilte Strecken, in den über die Rumpfflächen des südböhmischen Kristallin weithin ausgestreuten Schotterfeldern. Sie finden sich nicht in den Alluvien der gegenwärtigen, epigenetisch eingesenkten Flußtäler. Die Chronologie der Schotterfelder ist nicht unmittelbar gesichert; denn es gibt dort einander sehr ähnliche Schotter von ungleichem Alter. Ein Teil der Schotter am östlichen Massivrande ist abgespülter Rest aus den Oncophora-Sanden der helvetischen Stufe des Mittelmiocäns. Vor allem weist die Lage der Moldavitschotter auf den Höhen über engen Taleinschnitten der Iglawa und Oslawa auf eine Zeit, in der noch eine zusammenhängende Schotterdecke über die Rumpffläche gebreitet war und die weiter zurückreicht als die epigenetische Talbildung. An dem nach Osten absinkenden Rande des Massivs nimmt der Löß immer mehr Besitz von der Oberfläche. Ein deutliches Gesetz beherrscht seine Ausbreitung; mit großer Beständigkeit haftet er an den im Windschatten gelegenen nach Osten und Süden geneigten Flächen; das gilt auch für die Abhänge der bereits fertigen epigenetischen Täler. Die Fundgebiete der Moldavite reichen nicht mehr in das zusammenhängende Lößgebiet.

In dem regenreichen Klima des großen indochinesischen Gebietes wurden nach der Darstellung von Lacroix die Stücke häufig von den Höhen abgeschwemmt und auf sekundärer Lagerstätte in den Ebenen und Talböden angereichert. Viel mag noch in den unkultivierten Strecken und in den unzugänglichen Urwäldern verborgen sein. Auf ältestes Quartär weist das Vorkommen der Gläser in alten Dünen unter den Basaltströmen auf der Insel Tan-hai, nördlich von Hai-nan. Die Stücke sind auch älter als die weit ausgebreitete, lateritische Verwitterungsdecke. Lateritische Konkretionen, erfüllt von klastischen Quarzkörnern, dringen tief in die Kerben der vorgebildeten Tektitskulptur. Ähnliches findet sich übrigens auch an böhmischen Moldaviten;

auch dort sind manchmal aufgebrochene Blasenräume erfüllt mit einem Gemenge von Quarzsand und rötlicher Erde, die nicht aus der Zersetzung der Gläser entstanden sein konnte.

Das Alter der Darwin-Gläser ist besser gesichert als das der anderen Tektite. Nach den Angaben der australischen Geologen (Edgeworth David, Summers and Ampt (6), S. 170) ist den Funden in Tasmanien eine obere Grenze gesetzt durch den Rand der diluvialen Eiskappe in 1300'. Die Stücke liegen zum Teil unter postglazialen Moorgrunde und fehlen in den altdiluvialen Moränen. Aber vielleicht sind gerade sie, mit ihrer besonderen chemischen und physikalischen Beschaffenheit, von den übrigen Tektiten abzutrennen.

Es würde, trotz aller sonstigen Schwierigkeiten, schwer sein, ferner noch an der Gleichzeitigkeit der Fälle zu zweifeln, wenn neue Funde in der Lücke des großen Bogens zwischen dem böhmisch-mährischen und dem indochinesischen Gebiete zum Vorschein kämen. Allerdings erscheint die Hoffnung auf solche Funde im größten Teile dieses Bogenstückes recht gering. In der pannonischen Niederung und im südlichen Rußland könnten sie unter dem Löß verborgen bleiben und in den innerasiatischen Hochgebieten können sie durch die ausgiebige äolische oder glaziale Abtragung zerstört worden sein.

Vorläufig muß man zugeben, daß die zugunsten der Gleichzeitigkeit der Fälle zu verwertende Lage der Funde auf einem größten Kreise reichlich aufgewogen wird durch die Schwierigkeit, die fast unverwittert auf der Oberfläche liegenden Australite den sicher nicht über das Jungpliozän hinauf reichenden Moldaviten zeitlich gleichzustellen.

Den Anschluß der Tektite an die chemisch so verschiedenen Meteoriten vollzieht eine ergänzende Hypothese von H. Michel (17, S. 316). Sie erblickt in den kosmischen Gläsern die Restschlacken von vorwiegend aus Leichtmetallen zusammengesetzten, und daher in der Atmosphäre verbrannten Meteoriten. Die Hypothese knüpft an die bekannten Ausführungen von W. A. Wahl (28) über die Chemie der Meteoriten, in denen gezeigt wird, daß vor allem das Fehlen von Wasser und der Mangel an Sauerstoff dem Mineralbestande der Meteoriten gegenüber dem der irdischen Erstarrungsgesteine ein unterschiedliches Gepräge verleihen. Gewisse scheinbare

Paradoxe des Mineralbestandes werden dadurch verständlich. Einerseits überwiegen in den Meteoriten die Silikate des geringeren Oxydationsgrades; denn für jede beliebige Sauerstoffzufuhr ist stets genügend Metall vorhanden, um in die Silikatverbindung einzutreten. Es kann zum Beispiel bei Gegenwart von metallischem Eisen durch die Zufuhr von Sauerstoff mehr Metall zum Eintritt in das Silikat befähigt und dadurch das Metasilikat Pyroxen in das Orthosilikat Olivin übergeführt werden. Wenn andererseits wegen Sauerstoffmangels keine genügende Menge von oxydiertem Metall für die Bindung der vorhandenen Kieselsäure zur Verfügung steht, so kann in der Nachbarschaft von metallischem Eisen Tridymit oder auch Quarz (St. Marks, Südafrika) auftreten. Der Sauerstoff wird von den Elementen mit der höheren Bildungswärme der Oxyde beansprucht; hieher gehören vor allem die Leichtmetalle und Silicium, und ferner noch Mangan, Wolfram und Chrom. Einen Grenzfall bilden Meteoriten mit unoxydierten Erdmetallverbindungen, zum Beispiel Oldhamit (CaS).

Michel sagt, wenn es Meteoriten gibt, in denen die vorhandene Menge von Sauerstoff noch unter solche Grenzfälle hinabgeht, so können sie die Erdoberfläche nicht erreichen; denn sie müssen in der irdischen Atmosphäre verbrennen. Als ein unverdampfter Rest kann ein Gehalt an oxydiertem Silicium zurückbleiben; und zwar in Form eines vollkommen durchgeschmolzenen Glases, das einen Auszug der verbrannten Metalle des Kernes aufgenommen hat.

An der Erzeugung der Schmelzwärme hat in diesem Falle die Oxydation viel größeren Anteil als die atmosphärische Kompression, die beim Falle der Stein- und Eisenmeteoriten die Oberfläche zum Abschmelzen bringt.

Es läßt sich wohl vorstellen, daß eine solche Restschlacke in zahlreiche Tropfen und Fetzen zerspritzt und über eine große Fläche hin ausgestreut wird. Je nach den zufälligen örtlichen Umständen, nach dem Grade der Durchschmelzung, der Menge der verbrennenden Stoffe und ihrer Verteilung, der Schnelligkeit des Falles, mögen die verschiedenen Gestalten, die dünnflüssigen Rotationsformen der Australite oder die zäheren Fladen der Moldavite und der indochinesischen Tektite zur Ausbildung gelangen. Es wäre auch deswegen noch nicht geboten, für jedes Vorkommen einen besonderen Fall anzunehmen. Jedes Fallgebiet

könnte ein Teilstück einer zusammenhängenden Streubahn darstellen, in der mancherlei Begleitumstände des Falles von Ort zu Ort gewechselt haben.

Solche Gedankengänge überbrücken die nach dem ersten Eindrucke einem Zusammenschlusse widerstrebende Kluft zwischen den bekannten Meteoriten und den Tektiten und bringen beiderlei Körper in eine verständliche Beziehung zueinander. Der Zuwachs der neuen, ganz eigenartigen Gruppe liefert auch dem Vorstellungskreise über die Meteoriten neuen Stoff und regt an zu einer neuerlichen Umschau über die Fragen nach der Natur und Herkunft dieser Himmelskörper.

III. Zur Geschichte und Herkunft der Meteoriten.

Sämtliche Meteoriten sind leicht als Bruchstücke von größeren Körpern zu erkennen. Daubrée (5) hat als erster diese Trümmer im Geiste zu einem der Erde vergleichbaren Körper zusammengefügt und auf ihre vermutliche Ähnlichkeit mit den Stoffen des Erdinneren hingewiesen. Die Peridotite, als Vertreter von Gesteinen, deren größere Verbreitung in den Tiefen der Erde anzunehmen ist, und das Auftreten von gediegenem Eisen in den aus der Tiefe stammenden Basalten Grönlands hatten ihm die ersten Anhaltspunkte für den Vergleich dargeboten. Ihm war auch bereits die niedrigere Oxydationsstufe der Meteoriten aufgefallen; doch war sie ihm nicht als wesentlich erschienen.

Seit Daubrée begleitet alle theoretischen Betrachtungen über das Erdinnere der regelmäßige Hinweis auf die Meteoriten. Er dient zur Stütze der auf geophysikalischem Wege gewonnenen Vorstellung von dem metallischen Kern und der silikatischen Hülle des Erdkörpers.

Aber der Vergleich gilt nur mit nicht unwesentlichen und sehr bestimmten Einschränkungen. Der oder die Himmelskörper, die in meteorische Trümmer zerfallen sind, waren sicherlich viel kleiner als die kleinen Planeten. Die geringe Größe bedingt auch den besonderen physikalischen Zustand, der in der strukturellen und mineralogischen Beschaffenheit der Meteoriten ausgedrückt ist. Hieher gehört auch das Fehlen von Wasser in den Verbindungen und der geringe Oxydationsgrad, auf den bereits hingewiesen worden ist.

Aus bekannten Gründen, die von Geologen und Geophysikern dargelegt werden, ist allerdings auch im Erdinneren ein unoxy-

dierter, metallischer Kern anzunehmen und die vulkanischen Eruptionen bringen unoxydierte oder unvollkommen oxydierte Stoffe, wie Schwefelwasserstoff, Kohlenoxydgas, auch Kohlenwasserstoffe und Metallsulfide an die Oberfläche. Sie sind aber in der Atmosphäre nicht dauernd bestandfähig. Wie sich aus den strukturellen Eigenschaften ergibt, stammen die Meteoriten nicht aus dem Innern eines großen Planeten und nur die kleinen Himmelskörper, wie der Erdenmond, vermögen gegenüber den Expansionskräften der Gase eine atmosphärische Hülle nicht festzuhalten. Auch die Oberfläche des Mondes ist wasserfrei zu denken.

Die ältere Annahme, daß zur Entstehung der Widmanstätten-schen Struktur in den meteorischen Eisen eine besonders langsame Erkaltung notwendig sei, hat Belajew in der Fortführung seiner früheren Arbeiten richtiggestellt (1). Die wohlgelungene Darstellung dieser Strukturen im Kohlenstoffstahl hat die Einsicht in den Vorgang gefördert. Die Widmanstätten-sche Struktur entsteht durch sekundäre, „eutektoide“ Kristallisation aus granuliertem Eisen, das aus der erstarrten Schmelze durch allotropische Umwandlung gebildet worden ist. Bei langsamer Erstarrung sammelt sich der Kamazit an den Korngrenzen zu einem Netzwerk. Eine relativ rasche Erstarrung bewirkt die Ausscheidung der Lamellen im Inneren der Körner. Je größer die Körner sind, desto vollkommener entwickelt sich darin die Widmanstätten-sche Struktur. Die einer deutlichen Ausbildung günstigsten Umstände sind demnach: zunächst eine grobe Granulation bei einer hohen, nahe unter dem Schmelzpunkte festgehaltenen Temperatur, und dann eine verhältnismäßig rasche, weitere Erkaltung, bei der die Kamacitlamellen im Inneren der Körner aus der Legierung abgeschieden werden. Im Eisenkerne eines Körpers von planetarischer Größe könnte das nicht geschehen.

Für die Strukturen der Steinmeteoriten wird ganz allgemein eine rasche Bildung in der Nähe der Oberfläche angenommen. Die Eukrite, die unter allen meteorischen Steinen den tellurischen Laven am ähnlichsten sind, haben ihre ophitische Struktur mit der Pyroxenfüllung zwischen den Plagioklasleisten durch eine Sammelkristallisation erworben, die keine größere Tiefe als etwa die im Innern eines erstarrenden Lavastromes beansprucht; denn nahe verwandte Strukturen zeigen viele basaltische Er-

güsse. Aber durch die Verteilung der Stoffe bleibt den Eukriten wieder der außertellurische Charakter gewahrt. Dies zeigt sich darin, daß in den Basalten ein großer Teil des Eisens in Oxydform gebunden ist und im Vergleich zu den Eukriten weniger Eisen bleibt für den Enstatitaugit (Wahl, 28, S. 49).

Wahl und Michel (15, S. 594) haben hervorgehoben, daß die Struktur der Eukrite wahrscheinlich als der Ausdruck eines Eutektikums aufzufassen sei. Durch den hohen Eisengehalt wird der Schmelzpunkt in den meteorischen Pyroxenen herabgedrückt, und mit der Verschiebung des eutektischen Punktes gegen die leichter schmelzbare Komponente erklärt sich das Vorkommen der Pyroxene in den meteoritischen Eukriten. Michel verweist auf die Bestätigung dieser Auffassung durch die experimentellen Untersuchungen von R. Fries und M. Vučnik. Eine Kristallisationsdifferentiation auf einer ersten Stufe wäre damit angezeigt. Ihr Ergebnis entspricht aber erst jener Schmelze, von der die lange Differentiationsreihe der irdischen Magmen ihren Ausgang nimmt. Es ist das hypothetische, basaltische Urmagma *Bowens* (3) und *Dalys* (4), das im ganzen den Trappbasalten der sogenannten arktischen Sippe entspricht. Der Vergleich könnte weiterhin zu dem Schlusse leiten, daß auch die Ausgangsschmelze der irdischen Magmenreihen schon als ein dem Eutektikum genähertes Ergebnis einer ursprünglichen, dem metallischen Kern und der hypothetischen Eklogitische *V. Goldschmidts* näher angeschlossenen Differentiationsreihe aufzufassen sei. Aber in den Meteoriten ist keine Möglichkeit gegeben, die Differentiation weiter zu führen. Es fehlt dazu das Schwerfeld und auch die Körpermasse zur Speisung eines lange anhaltenden Wärmestromes, der die Kristallisationsintervalle der einzelnen Stoffe durch einen hinreichenden Zeitraum auseinander hält, in den die langsame Seigerung nach dem Gewichte einrücken könnte.

Die verbreitetsten und kennzeichnendsten Gefügearten der meteorischen Steine werden in irdischen Gesteinen nicht angetroffen und ihre Bildungsweise ist daher noch umstritten und ungeklärt. Man kann ihrer im wesentlichen dreierlei unterscheiden: 1. Die *Chondren*, als eine Form der Kristallisation, 2. die *brecciöse Zertrümmerung*, als nach der Kristallisation erfolgte Veränderungen und 3. die häufigen Spuren einer

späteren Erwärmung oder Aufschmelzung, einer sogenannten Thermometamorphose.

Für das Ziel dieser Betrachtungen können die vielumstrittenen Besonderheiten der Chondrenbildung unerwogen bleiben. Es wird hier nicht eingegangen auf die Fragen, ob die Chondren gemäß der Ansicht von Tschermak, Wahl, Merrill u. a. aus durch Explosion zerstäubten Tropfen, entstanden sind, oder ob sie, wie Klein vermutete, nach Art der Sphärolithen, aus dem Glase abgeschieden worden sind. Gegenüber den Experimenten von Rinne, der Chondren ähnliche Kügelchen durch Zersprätzen von Olivin- und Hypersthenschmelzen im elektrischen Ofen erhalten hat, weisen manche Beobachtungen auf eine Kristallisation der Chondren an Ort und Stelle innerhalb der Gesteinsmasse. Berwerth beschrieb ein Bronzitchondrum in einem Olivinkorn in dem Meteorstein von El Nahkla und runde Glaseinschlüsse mit fein radialstrahligen Bronzitanhäufungen im Eisen von Kodaikanal (2). Darüber gibt es aber doch wohl keine Meinungsverschiedenheit und das ist auch hier das Wesentliche, daß die meteorischen Steine aus einer Schmelze zunächst rasch zu einem Glase erstarrt waren. Die Kristallisation aus den kugeligen Gebilden — aus Tropfen oder Sphärolithen — begann, wie zu erwarten ist, zumeist vom Rande her und erzeugte die kennzeichnenden, exzentrisch strahligen Strukturen, zwischen denen oft noch Reste des Glases erhalten sind.

Es wird nicht daran gezweifelt, daß in den Chondren Vorgänge von der Oberfläche eines Himmelskörpers abgebildet sind, und das gleiche gilt für die beiden anderen Arten der Strukturgefüge, für die brecciöse Zertrümmerung und für die Thermometamorphose. In dem Innern einer planetarischen Masse, in dem Bereiche gleichmäßigeren Druckes und gleichmäßigerer Temperaturen könnten so plötzliche Zustandsänderungen nicht geschehen. Auch die Lösung der Sonderfragen bleibt hier unversucht, ob das Aufschmelzen der basischen Plagioklasse in den Eukriten zu Maskelinit und anderen glasigen Schmelzen, wie die Mehrzahl der Forscher annimmt, auf der planetarischen Bahn im nahen Vorbeistreichen an der Sonne entstanden sind und ob Kollisionen mit anderen Körpern die brecciösen Zertrümmerungen geschaffen haben, oder ob beide durch Ungleichmäßigkeiten im Laufe der Erstarrung, durch neuerliche,

eruptive Aufbrüche in der verfestigten Hülle erklärt werden können.

Es wurde insbesondere von V. M. Goldschmidt (9) darauf hingewiesen, daß die Pallasite mit den in Nickeleisen eingeschlossenen Olivinen nicht in einem stark wirksamen Schwerefelde, und somit nicht auf einem Weltkörper von planetarischer Größe entstehen konnten. Das Vorkommen von sauren Tiefengesteinen von der Art der Granite, die eine weit geführte Kristallisationsdifferentiation durch Seigerung im Schwerefelde bei Gegenwart fluider Stoffe voraussetzen, wäre unvereinbar mit den erkannten Bildungsbedingungen der Meteoriten. Ebenso undenkbar ist auch irgend eine großzügigere Sonderung nach der Gauverwandtschaft, die etwa den atlantischen und pazifischen Sippen der irdischen Magmen zu vergleichen wäre.

Hier kann die Betrachtung wieder zurückkehren zu dem, was oben über die Chemie der Tektite gesagt worden ist (Seite 122 ff). Wenn man für die Tektite einen ähnlichen Bildungsbereich in Anspruch nimmt wie für die Meteoriten, nämlich einen kleinen Himmelskörper ohne wirksames Schwerefeld, so ergibt sich notwendig die von der irdischen, sauren Gläser unterschiedene Stoffgesellschaft. Der Unterschied erklärt sich durch das Fehlen der die irdische Erstarrung beherrschenden Gesetzmäßigkeit in den Tektiten. Es ist wohl möglich, daß die gleichförmige Mischung der Tektitschmelzen ebenfalls durch eine besondere Gesetzmäßigkeit bedingt ist; sie wäre aber von anderer Art und vielleicht der Ausdruck einer Abhängigkeit der Zusammensetzung der Restschlacke von der des verbrannten Leichtmetallkernes.

Die kosmische Theorie der Tektite kann nun schon für so weit gefestigt gelten, daß sie mit einbezogen werden kann in die allgemeineren Erwägungen über die Herkunft der Meteoriten.

Die Tektite sind, ebenso wie die meteoritischen Steine und Eisen, aus einer heißen Schmelze erstarrt. So wie sie vorliegen, sind sie aber wahrscheinlich das Ergebnis einer Erstarrung aus zweiter Hand nach neuerlicher Aufschmelzung in der Atmosphäre.

In der Hauptfrage nach der kosmischen oder planetarischen Herkunft der Meteoriten wird auch dem Petrographen eine Stimme

einzuräumen sein und was ihm die Gesteinsbeschaffenheit sagt, stimmt wohl nicht gut zu dem, was die Astronomen lehren, nämlich, daß aus den Bahnen der meisten Meteoriten von beobachtetem Fall eine Herkunft aus dem außerplanetarischen Raume zu errechnen sei. Diese Anschauung gilt natürlich nicht für die Kometen und die Sternschnuppenschwärme.

Zugunsten der Abstammung der Meteoriten aus unserem Sonnensysteme spricht entschieden ihre, man kann wohl sagen, erschreckliche Einförmigkeit. Nach Fletchers Ausspruch (8) könnten sämtliche Meteoriten von einem und demselben Magma abgeleitet werden.

Es ist schwer zu denken, daß der ungeheure interstellare Raum immer nur Proben aus dem gleichen und sehr engen Bildungsbereiche zusenden sollte. Es geschieht, daß in Zeitabschnitten, die ungeheuren räumlichen Entfernungen im Kosmos entsprechen würden, immer wieder Stücke zur Erde fallen, die einander vollkommen gleichen.

Einförmigkeit ist auch der hervorstechende Zug des Materiales der Tektite. Mit der Verschiebung in die höhere Säurestufe der Moldavite bleibt das Mengenverhältnis der Metalle, das bezeichnende Merkmal der Chemie der Tektite, unverändert; gerade dadurch tritt die Beharrlichkeit der bezeichnenden Stoffmischung um so auffälliger hervor. Dabei ist im Auge zu behalten, daß bedeutendere Schwankungen der Stoffmengen in den Tektiten nicht das gleiche bedeuten würden wie in den meteorischen Steinen; denn die Chemie der Tektite kann als sekundär aufgefaßt werden und es wäre denkbar, daß bei der Bildung der Silikatschlacke aus dem verbrennenden Körper die Mengenverhältnisse der Stoffe noch bedeutend verschoben werden.

Die häufigen Zwischenglieder und Übergänge zwischen den meteoritischen Steinen und Eisen zeigen, daß beide aus den gleichen Riesentropfen entmischt worden sind. Aber diese gemeinsamen Ausgangskörper für die verschiedenen Gruppen der Meteoriten waren dennoch sehr klein im Vergleiche zu den planetarischen Himmelskörpern. Nicht nur das Fehlen von Wasser und der Mangel an Sauerstoff, auch das Fehlen eines Schwerefeldes und die rasche Erstarrung machten es unmöglich, daß in dem Bildungsbereiche der Meteoriten irgendwelche den irdischen Graniten, Syeniten u. a. ähnliche Gesteine aus-

kristallisieren konnten. Falls ein den irdischen magmatischen Gesteinen ähnlicher Meteorit zur Erde fiel, so müßte er einem ganz anderen Bildungsbereiche entstammen, als alle bisher bekannten Meteoriten. Die Meteoriten sind sicherlich nicht Trümmer eines Großplaneten. Die Annahme kann nicht gelten, daß sie einem zur Asteroidenzone aufgelösten Anonymus entstammen.

In einer kürzlich erschienenen Arbeit über die „feste Erde“ schließt Jännecke (12), daß die Trümmer eines zerborstenen Planeten durch plötzliches Nachlassen des Druckes zum Aufschmelzen gebracht würden und daß so die Entstehung der Meteoriten gedacht werden könnte. Aber in den Trümmern eines großen Planeten müßten die Stoffe doch anders verteilt sein. Die einzelnen Schalen, aus denen er sich aufbaut, müßten doch in den Stoffen der Trümmer erkennbar sein. Wenn man auch annehmen darf, daß die Trümmer von Goldschmidt's hypothetischer Sulfidschale beim Eintritte in die Atmosphäre zerstäuben würden, so müßte eine einheitlichere und mächtigere Silikatschale doch auffälliger hervortreten. Zu knapp sind Eisen und Steine aneinander geschlossen; zu innig sind die Übergänge. Sehr häufig dringen Splitter von gediegenem Eisen in das Gefüge der verschiedenartigen Steine.

Bei der Vorstellung von Arrhenius, nach der die Meteoriten im fernen Weltraume durch Zusammenbacken des durch Lichtdruck von der Sonne abgetriebenen Staubes entstanden seien, bleibt es unverständlich, wodurch die verhältnismäßig kleinen Zusammenballungen bis zur vollkommenen Durchschmelzung erhitzt worden waren, so daß eine von Differentiation begleitete Erstarrung zu den vorliegenden kristallinen Strukturen geführt hat.

Nach unseren gegenwärtigen Vorstellungen über das kosmische Geschehen ist die Entstehung der chemischen Elemente in das Innere der großen Weltkörper zu verlegen und die Temperatur ist eine Funktion der Größe. Nur an der Oberfläche der Sonnen herrschen Temperaturen, wie sie für die Ausgangschmelze der Meteoriten zu beanspruchen sind. Dennoch sind die Meteoriten nicht als Trümmer zerborstener Sonnen anzusehen. Aber die ursprüngliche Stoffmischung und der Anfangszustand, von dem die Gestaltung der Meteoriten ihren Ausgang

genommen hat, nötigt unbedingt zu der Ableitung von der Oberfläche eines sonnenartigen Himmelskörpers. Nach verbreiteter Ansicht entstand das Erstgefüge der Chondriten, ähnlich wie die irdischen Vulkantuffe, auf der Oberfläche eines erstarrenden Weltkörpers. Wah l vermutet einen der gegenwärtigen Sonnenoberfläche oder eher noch einem späteren Stadium der Abkühlung eines ähnlichen Himmelskörpers vergleichbaren Zustand. Es gab dort keine Vulkanschlote wie auf der Erde; die ganze Oberfläche des rasch erstarrenden Himmelskörpers war tätiger Vulkanismus, und man darf dabei sicherlich nicht an einen Himmelskörper von annähernder Sonnengröße denken, der, wenn er einmal zur Erstarrung gelangen sollte, eine lange Kette von Kristallisations- und Sonderungsvorgängen und vielfältig abgestuften Vorgängen des Vulkanismus der Oberfläche und des Plutonismus der Tiefen durchzumachen haben würde. Eine unvergleichlich mannigfaltiger differenzierte und anders geartete Gesteinsgesellschaft wäre unter den Bruchstücken eines Körpers von Sonnengröße zu erwarten.

Das Bild der brodelnden Oberfläche eines erstarrenden Himmelskörpers leitet zur glaubwürdigsten Erklärung der Strukturen der Steinmeteoriten. Aber die Erstarrung ist sehr rasch geschehen; und zwar, wie man annehmen darf, auf einem von einem heißen Hauptkörper losgelösten Tropfen. Das merkwürdige Überwiegen von tuffartigen, z. T. recht lockeren Gefügen auf den meteorischen Steinen, einschließlich der Chondren, kann erklärt werden durch das lebhaftere Spratzen auf der Oberfläche eines solchen Tropfens bei der mit rascher Erkaltung verbundenen Entgasung. In das ruhigere Innere ist die Kristallisation der Eukrite und der in ihren Strukturmerkmalen den Tiefengesteinen vergleichbaren Chassignite, der olivinreichen Pallasite zu verlegen. Dabei wird nicht an große Tiefen und an große Überlastung zu denken sein, da ja auf der Erde die plutonische Erstarrung recht nahe an die Oberfläche und sogar bis in den Körper der Vulkanberge empordringen kann. Die Pallasite vermitteln den Übergang zu den Nickeleisen mit den Widmanstättenischen Figuren. Sie gehören zu einem ebenfalls verhältnismäßig rasch erkalteten Eisenkerne unter der Schlackenhülle.

Die Spuren einer nächsten Gruppe von Veränderungen, die knapp nach der Erstarrung oder durch spätere Zufälligkeiten

auf der kosmischen oder planetarischen Bahn erworben wurden, der Thermometamorphose und der brecciösen Zertrümmerung, fehlen nur an wenigen der in die Lufthülle der Erde eintretenden Meteoriten. Hier erst erhalten sie ihre letzte Prägung. Indem der heiße Gasstrom die werdende Schmelzhaut immer wieder abstreift, glättet und verkleinert er die Gestalt.

Bei den Tektiten hat die letzte, die atmosphärische Phase der Gestaltung, die Spuren aller früheren vernichtet. Man darf annehmen, daß eine größere Stoffmenge durch Verbrennen verloren gegangen ist und nur im zähflüssigen Zustande durch vollkommene Durchschmelzung während des Falles konnten die Rotationfiguren der Australite so wie die Pladen- und Tropfenformen der Moldavite und der indochinesischen Tektite entstanden sein. Aber den letzten großen Wandel überdauernd, bleibt in dem durchschmolzenen Reste der geschwundenen Masse noch ein Wesenszug erkennbar, der hinweist auf die Abstammung aus einem verwandten Bildungsbereiche. Die Mengenverhältnisse der Stoffe weisen auf einen kleinen Körper ohne die langsame Differenzierung in einem Schwerefelde und, was die Tektite von Böhmen bis Australien darbieten, schließt sich durch die Einförmigkeit gleichlaufend an das in einem so bestimmten und enge umschlossenen Gestaltenkreise beharrende Phänomen der Meteoriten.

Leichte Metalle im ionisierten Zustande gehören zum Bestande der Sternhüllen von Sonnentemperatur und die Tektite im Vereine mit den Sternschnuppen unterstützen die Annahme, daß die zur Erde gelangenden Meteoriten die unverbrennbare Auslese einer größeren Mannigfaltigkeit von metallischen Körpern darstellen.

*

Aus der Beschaffenheit der Meteoriten ist somit eine phasenreiche Geschichte abzulesen, die mit gleicher Geltung für alle bekannten Vorkommen verwendet werden kann. Die erste Phase, in der das Stoffgemenge bei hohen Temperaturen geschaffen wird, ist auf einen sonnenartigen Himmelskörper von entsprechender Größe zu verlegen. Sie kann als die **astrale Phase** bezeichnet werden. In eine zweite Phase fällt die Lostrennung der zur Bildung der Meteoriten bestimmten Stoffe von dieser Sonne in Form von verhältnismäßig großen Tropfen

einer heißen sauerstoffarmen und wasserfreien Schmelze. Sie sei als **apostaktische Phase** unterschieden (*ἀποστάξις* — abtropfen). — In einer dritten, der **kathartischen Phase** (*καθαίρειν* — Reinigungsprozeß durchführen, *κάθαρμα* — Schlacke) geschieht die Sonderung in die Schlackenhülle und den Metallkern und die Auskristallisation der Mineralien, unbeeinflußt von der Wirkung eines bedeutenderen Schwerefeldes. — Eine vierte, die **porotische Phase**, umfaßt die Erstarrung (zu *πορόω* — ich verhärtete), die an der Oberfläche verhältnismäßig rasch und stürmisch, unter Chondrenbildung, vor sich geht. Verhältnismäßig rasches Erkalten der Gesamtmasse verlangt auch nach den Untersuchungen von Belaiew die in der Widmanstättenschen Struktur ausgedrückte, eutektoide Kristallisation der meteorischen Eisen. — Erst in der fünften, der **dithraustischen Phase** (*δια-θραύειν* — zum Zerspringen bringen), erfolgt der Zerfall des völlig erstarrten Riesentropfens in die kantigen Splitter, die nun in den unbestimmt langen Zeiten ihres Kreisens um die Sonne, in einer sechsten, der **perihelischen Phase**, weitere Wandlungen durchzumachen haben. Hieher gehört die Thermometamorphose durch Erhitzung in der Sonnennähe. Meteoriten aus Alkalimetallen werden in dieser Phase vermutlich durch Verdampfen völlig aufgezehrt werden. Der Eintritt in die irdische Atmosphäre bezeichnet die siebente und letzte, die **atmosphärische Phase** der Umgestaltung, in der das Abschmelzen durch Reibungswärme die Körper verkleinert, die Kanten rundet und die kennzeichnende Schmelzhaut zurückläßt. Bei Meteoriten aus Aluminium, Calcium, Magnesium oder Silizium wird eine Verbrennungswärme noch wirksamer sein als die Reibungswärme und in den Tektiten bleibt nur das Ergebnis dieser letzten Phase erhalten.⁴⁾

Daß die Meteoriten dem Planetensysteme angehören, schloß auch Paneth (20) aus der Altersbestimmung nach der Heliummethode, die ihnen kein höheres Alter gibt als das der Erde, das ist unter 2000 bis 2900 Millionen Jahren; die gleichen Mischungsverhältnisse der Stoffe, der Isotopen des Eisens, des Nickels und des Chlors in den Meteoriten und auf der Erde

⁴⁾ Für die freundlichen Ratschläge bei der Auswahl der griechischen Bezeichnungen habe ich meinem Kollegen, Prof. L. Radermacher, den besten Dank zu sagen.

dienen ihm als Beleg dafür, daß beide „demselben Schmelztiegel“ entstammen. (Allerdings werden diese Mengenverhältnisse wahrscheinlich bestimmt durch das Stabilitätsverhältnis der Atomformen und könnten im ganzen Kosmos annähernd die gleichen bleiben.) Er sucht auch die Angaben der Astronomen zu entkräften, daß die Meteoriten hyperbolischen, und daher aus dem interstellaren Raume heranführenden Bahnen folgen, und stellt dieser Annahme aus der Statistik der Fälle gezogene Belege für eine interplanetarische Herkunft der Meteoriten entgegen. Sie sollen ebenso wie die Planeten und ungefähr zu gleicher Zeit mit diesen, von unserer Sonne losgelöst worden sein.

Auch das petrographische Gewissen sträubt sich dagegen, irgendwelchen, aus den unermeßlichen kosmischen Räumen zugesandten Proben einen so engen Bildungsbereich zuzubilligen, wie ihn die Meteoriten in ihrer Gesamtheit darbieten. Die petrographische Beschaffenheit der Meteoriten würde mit der Vorstellung gut zu vereinigen sein, daß sie von unserer Sonne abstammen und daß die planetarischen oder kometischen Bahnen, auf denen die ausgebrannten Schlackensplitter einzeln oder in Schwärmen die Sonne umkreisen, in die Stoffwolke gehören, deren Widerschein als Zodiakallicht sichtbar wird.

Eine von mancherlei Hypothesen, an die man hier anknüpfen könnte, wäre vielleicht die von Jean, nach der die Planeten durch eine vorüberstreichende zweite Sonne von der unseren abgezogen worden sind und die Meteoriten würden von kleineren Tropfen abstammen, mit denen sie damals in den ferneren Raum verschleppt worden sind und von wo her sie nun zum Sonnensysteme zurückkehren.

Aber solche Gedanken führen bereits weit hinaus über das, was sich aus dem Wahrzunehmenden fast unmittelbar ergibt, und das Urteil der Astronomen wird darüber noch einzuholen sein. Was aber die Beschaffenheit der Stein- und Eisenmeteoriten aussagt über eine phasenreiche Geschichte und über ihre Herkunft aus einem engen und aus dem gleichen Bildungsbereiche, wie die Tektite, bleibt unberührt und unbeeinflußbar durch die aus den Daten der Astronomie abgeleiteten Hypothesen.

LITERATUR:

1. Belaiew N. I.: On the genesis of Widmanstätten structure in meteorites and in iron-nickel and iron-carbon alloys. *Miner. Magazin*, London, Vol. 20, 1925, S. 173.
2. Berwerth F.: Das Meteoreisen von Kodaikanal und seine Silikat-ausscheidungen. *Tschermaks Mineral. petrograph. Mitt.*, XXV, 1906, S. 179.
3. Bowen N. L.: The later stages of the evolution of the igneous rocks. *Journ. of Geol.*, Chicago, XXIII, 1915, No. 8, Suppl. — The evolution of igneous rocks, 1928.
4. Daly R. A.: *Igneous rocks and their origin*, 1914.
5. Daubrée M. A.: *Les Météorites et la Constitution du globe Terrestre* Paris, 1886.
6. David Edgeworth T. W., Summers H. S., Ampt G. H.: The Tasmanian Tektite, Darwin-Glass. *Proc. Royal Soc. of Victoria*, Melbourne, XXXIX, 1927, S. 167.
7. Dittler E.: Beitrag zur chemischen Systematik der Tektite. *Zentralblatt für Min. usw.*, Abt. A, 1933.
8. Fletcher L.: An introduction to the study of meteorites. *Brit. Museum Guide Book*. 11. edit., 1914, p. 50.
9. Goldschmidt V. M.: Geochemische Verteilungsgesetze und kosmische Häufigkeit der Elemente; *Die Naturwissenschaften*, 18. Jg., 1930, S. 999.
10. Hanuš F.: Les Moldavites (Tektites) de la Bohème et la Moravie (Résumé), *Rozpr. II. Tridy české Akademie Ročn.* 37. *Bull. internat. de l'Académie des Sciences de Bohème*, 1928, S. 1.
11. Hodge-Smith: Obsidianites in the Philippine-Islands. *Philippine-Journal of Science*. Vol. 48, 1932. S. 581.
12. Jännecke E.: Ist das Erdinnere fest? *Forschungen und Fortschritte*, Berlin, 9. Jg., S. 109.
13. Lacroix A.: Les Tectites de l'Indochine, *Archive du Museum Nationale d'Histoire Naturelle*, 6. Serie, T. VIII. 1932, S. 193.
14. Merrill G. P.: Composition and structure of Meteorites. *Bull. U. S. Natur. Hist. Museum*. Nr. 149, 1930, S. 425.
15. Michel H.: Die Feldspate der Meteoriten, *Tschermaks Mineral. petrog. Mitt.*, XXXI, 1912, S. 564.
16. Michel H.: Zur Kenntnis der Pyroxene der Meteoriten, *Annalen d. Naturhist. Hofmuseums*, Wien, XXVII, 1913, S. 94.
17. Michel H.: Fortschritte der Meteoritenkunde seit 1900, *Fortschr. d. Mineralogie, Kristallographie und Petrographie*, Jena, VII, 1922, S. 240.
18. Michel H.: Die Entstehung der Tektite und ihrer Oberfläche, *dasselbst*, XXXVIII, 1925, S. 154.
19. Paneth F., Urry W. u. Koch W.: The age of iron meteorites, *Nature*, 1930, S. 490.
20. Paneth F., Urry W. u. Koch W.: Zur Frage des Ursprunges der Meteoriten. *Zschr. f. angew. physikal. Chemie*, 1930, Vol. 36, S. 727.
21. Prior G. T.: *Mineralogical Magazin*, London, XVII, 1930.
22. Scrivenor J. B.: Two large obsidianites from the Raffles Museum Singapore, *Geol. Magazin*, London (6) 3, 1916, S. 145.
23. Spencer I.: The origin of tektites. *Nature*, Vol. 131, 1932, S. 117.

24. Sueß F. E.: Die Herkunft der Moldavite und verwandter Gläser. Jahrb. d. Geolog. Reichsanstalt, Wien, Bd. 50, 1900, S. 193.
25. Sueß F. E.: Rückschau und Neuere über die Tektitfrage. Mitt. d. Geolog. Gesellschaft, Wien, Bd. VII, 1914, S. 51.
26. Vogt I. H. L.: Die Genesis der Granite, physikochemisch gedeutet. Zschr. d. Deutschen Geolog. Gesellschaft, Berlin, Bd. 83, 1931, S. 193.
27. Vogt I. H. L.: The physical Chemistry of the Magmatic Differentiation of Igneous Rocks. Academy of Science, Oslo, 1931.
28. Wahl W. A.: Beiträge zur Chemie der Meteoriten, Zschr. für anorganische Chemie, Bd. 69, 1910, S. 52.
-