

Überreicht vom Verfasser.

Sonder-Abdruck

aus der

NATURWISSENSCHAFTLICHEN

R U N D S C H A U

---

BRAUNSCHWEIG

DRUCK VON FRIEDRICH VIEWEG UND SOHN.

# Über Gläser kosmischer Herkunft.

Von Prof. Franz E. Suess (Wien).

(Vortrag, gehalten in der gemeinsamen Sitzung der beiden Hauptgruppen der 81. Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte in Salzburg am 23. September 1909.)

Die Meteoritenkunde zählt gegenwärtig noch nicht 700 beobachtete Fälle; 10 bis 11 unter diesen sind Meteoreisen; dazu kommen noch etwa 270 Fundeisen und eine kleinere Zahl Steinmeteoriten unbekannter Fallzeit. Weitaus die größte Menge des Materials besteht aus kristallisierten Silikaten, und zwar sind im Gegensatz zu den Gesteinen der Erdoberfläche die kiesel säurearmen Verbindungen von Kalk, Magnesia und Eisen vorherrschend gegenüber dem kiesel säurereichen Tonerdealkali-Silikate. So wurden vor allem die Kalisilikate Orthoklas und Leucit in Meteoriten noch nicht vorgefunden.

Abgesehen von der Schmelzrinde und den von dieser ausgehenden Injektionsadern, den Produkten der jüngsten Erhitzung beim Eintritt in die irdische Atmosphäre, nimmt unkristalline, glasige Substanz nach älterer Annahme nur einen verhältnismäßig geringen Anteil an der Zusammensetzung der Meteoriten; wenn auch im meteorischen Olivin nicht selten Glaseinschlüsse die Menge des Wirtes übertreffen und auch Glas an dem Aufbau der Chondren reichlich beteiligt ist.

Schon vor mehr als einem Jahrzehnt war ich bestrebt, die Petrographie des Weltraumes zu ergänzen durch Anreihung einer Gruppe von Körpern, welche im wesentlichen verschieden sind von früher anerkannten Aerolithen. Es sind vollkommen oder fast vollkommen kristallfreie Gläser, in deren Substanz die kiesel säurereichsten Tonerdealkali-Silikate vorherrschend vertreten sind. Ich nannte sie „Tektite“ und unterschied drei Gruppen: die „Moldavite“, die „Billitonite“ und die „Australite“. D. M. Verbeek und P. G. Krause waren mir mit der Hypothese des außerirdischen Ursprungs dieser Körper kurz vorangeeilt; ersterer versuchte sie von Mondvulkanen herzuleiten. Beide Autoren beziehen sich vorwiegend auf die Vorkommnisse des Sundaarchipels, die Billitonite. Hinsichtlich der weitverbreiteten australischen „Obsidianknöpfe“, der Australite, hatte Streich schon 1893 die Vermutung ausgesprochen, daß sie möglicherweise kosmischen Ursprungs seien, allerdings ohne diesen Gedanken weiter zu verfolgen. Die Anregung zu meinen eigenen Forschungen ist erfolgt durch die Kenntnis, welche ich auf meinen geologischen Aufnahmen in der Gegend von Trebitsch von merkwürdigen Exemplaren mährischer Moldavite erhalten habe, deren höchst eigen-

artige, bisher wenig beachtete Oberflächenbeschaffenheit und tiefschwarze Farbe mit lackähnlichem Glanz, infolge einer allerdings zum Teil nur äußerlichen Ähnlichkeit, die Erinnerung an Meteoriten ins Gedächtnis rufen mußten.

Ich kann sagen, daß in dem ersten Jahrzehnte seit der Veröffentlichung keine ernsten Einwürfe gegen die Hypothese der kosmischen Herkunft der Tektite bekannt geworden sind. Sie haben in der Zwischenzeit immer allgemeinere Anerkennung gefunden, und in den Lehrbüchern und Sammlungen werden sie bereits oft den Meteoriten angereiht. So wage ich es denn heute, über den Kreis der engeren Fachgenossen hinaus, vor einen weiteren Kreis von Naturforschern zu treten, um Ihnen die Gründe auseinanderzusetzen, welche bestimmend sind für die erwähnte Auffassung.

Jedes der drei Vorkommnisse, das böhmisch-mährische, jenes des Sundaarchipels und das australische, ist sowohl in stofflicher Hinsicht wie in bezug auf die Gestalt der Objekte ein besonderer Typus. Am längsten bekannt ist das böhmisch-mährische Fundgebiet. Die eigentümlichen, scheibenförmigen oder unregelmäßig gestalteten, flaschengrünen Glasstücke aus der weiteren Umgebung von Budweis haben schon vor mehr als 100 Jahren die Aufmerksamkeit erregt; sie wurden zuerst von dem Prager Professor Josef Meyer als „vorgebliche Chrysolithe“ erwähnt, mit der Vermutung, daß sie eine „glasige Lavaart“ darstellen. Schon bald nachher wurde durch Lindaker neben dieser Annahme noch die zweite Möglichkeit erwogen, daß diese Moldautheiner Chrysolithe Kunstprodukte und zwar Schlacken eines Hochofens oder einer Glashütte seien. Ende der 80er Jahre wurde ein zweites reiches und interessantes Fundgebiet dieser Gläser in der Gegend von Trebitsch an der Iglawa in Mähren entdeckt.

Die Verschiedenheiten gegenüber den vulkanischen Gläsern, nämlich der Mangel an Wasser und das Fehlen von Mikrolithen, wurden zuerst von A. Makowsky in Brünn hervorgehoben.

Das Fehlen irgend welcher junger vulkanischer Erscheinungen in dem ganzen mittelböhmischen und mährischen Grundgebirge und irgend eines Gesteins, welches als ursprüngliche Lagerstätte dieser Gläser vermutet werden könnte, war die Ursache, daß eine große Anzahl von Forschern an der Auffassung derselben als Kunstprodukte durch lange Zeit festhielt

— trotz der gewichtigen Einwendungen, die von anderer Seite dieser Auffassung entgegengestellt wurden.

Woldrich und Dvorsky, ersterer im böhmischen und letzterer im mährischen Gebiete, hatten Moldavite, eingebettet in diluvialen oder jungtertiären Ablagerungen, gefunden. Vor allem aber machten die Chemiker, unter ihnen in erster Linie Prof. Habermann in Brünn, geltend, daß Gläser von so hohem Tonerdegehalt und so hohem Schmelzpunkt wie die Moldavite unmöglich mit einfachen Mitteln auf künstlichem Wege erzeugt werden konnten. So blieb ihre Herkunft durch lange Zeit ein Rätsel, und das gleiche gilt von den malaiischen und den australischen Glaskörpern. Auch hier schwankten die Meinungen zwischen der Deutung als künstliche Schlacken und vulkanische Auswürflinge. Die nahe Verwandtschaft zwischen den drei Vorkommnissen war schon 1893 durch Stelzner bekannt geworden.

Die europäischen Tektite, die Moldavite, finden sich hauptsächlich in zwei Gebieten und zwar am westlichen und südlichen Rande der Budweiser Ebene in Böhmen und ferner an mehreren Stellen einer etwa 50 km langen Landstrecke südöstlich von Trebitsch in Mähren. Trotzdem absichtliches Suchen in den Moldavitschottern des böhmisch-mährischen Hochlandes in der Regel erfolglos ist, sind doch schon aus dem böhmischen Gebiete gewiß Hunderttausende von Exemplaren als Schmucksteine verschliffen und in die Sammlungen gebracht worden. Die mährischen Fundstellen, vielleicht weniger reich, haben aber sicher auch schon Tausende von Stücken geliefert. Die Fundgebiete sind demnach auf einem etwa 130 km langen Landstreifen ungleich verteilt. Andere, entferntere Fundangaben, wie Trebnitz in Nordböhmen und Straning bei Eggenburg in Niederösterreich, sind vereinzelt und bedürfen vielleicht noch der Bestätigung.

Weit größer ist das Fundgebiet der Billitonite. Ihr Hauptvorkommen ist in den Zinnseifen der Insel Billiton bei Java und zwar nur in den diluvialen oder pliozänen Ablagerungen der ganzen Insel und nicht auf der gegenwärtigen Oberfläche. Einzelne weitere Funde auf Java, auf Borneo, auf Bunguran im Natunaarchipel verleihen dem Fundgebiete Ausdehnungen von 300 bis 500 km.

Die schwarzen australischen Glasknöpfe, die Australite, liegen auf den Sandhügeln der Viktoriawüste oder in der Ackererde, oder auch tief unter Tag, in den Goldseifen, ebenso in Brockenhill wie im Kollgardiedistrikt und in den Goldfeldern von Viktoria. Sie liegen auf den Hügeln der Fraserrange oder im jungen Kalktuff am Stuarts Creek nächst der Depression am Lake Eyre, in den Grampians auf Höhen von 800 bis 1000 m und an vielen anderen Fundpunkten, welche über die ganze Südhälfte des Kontinentes verstreut sind. Sie finden sich auch auf den südlichen Inseln und in den jungen Anschwemmungen, welche Tasmanien umranden. Am weitesten gegen Norden vorgeschoben sind die Fundpunkte in der Mac Donnell Range in der Mitte des Kontinentes. Das Fundgebiet mißt hier nach Tausenden von Kilometern und um-

faßt Entfernungen wie von Lissabon bis Tiflis in der Länge und von Rom bis Stockholm in der Breite. Sie liegen ebenso wie die böhmischen Moldavite, ohne Anzeichen irgend eines Transportes in den Goldseifen zwischen abgerollten Stücken von Bergkristall, Turmalin und anderen härteren Mineralen.

Schon in der äußeren Erscheinung zeigen die Vorkommnisse der drei Fundgebiete viel Gemeinsames. Im auffallenden Lichte tiefschwarz, überraschen sie, gegen eine Lichtquelle gehalten, durch ihre klare Durchsichtigkeit mit zartgrünen oder gelblichgrünen, seltener braunen Farbentönen. Die helleren, rein grünen und brillanten Farbentöne sind bei den Moldaviten vorherrschend; mehr braun und weniger durchsichtig sind die Billitonite und die Australite. Ähnliche Farben würden die meisten Schmelzen der irdischen Silikatgesteine annehmen, mehr grün oder mehr braun je nach dem Vorherrschen von Eisenoxydul oder Eisenoxyd. Das Glas wirkt gefällig durch die Reinheit des Farbentones; nie werden Unreinlichkeiten, Trübungen oder fremde Einschlüsse gefunden; — ein wichtiges Argument gegen Auffassung dieser Gläser als zufällige Kunstprodukte.

So wie die äußere Erscheinung, ist auch die chemische Zusammensetzung der drei Tektitarten sehr ähnlich. Es sind Mischungen der gleichen Stoffe und in ähnlichen Verhältnissen wie in den kieselsäurereichen Eruptivgesteinen der Erde. Der Kieselsäuregehalt von über 70 Gewichtsprozenten der Australite und Billitonite entspricht den auf der Erde sehr verbreiteten sauren Graniten und Lipariten. Bei den Moldaviten schwankt der Gehalt an Kieselsäure um 80 %, eine Ziffer, die bei irdischen Eruptivgesteinen nur selten und nur in örtlichen Bildungen erreicht wird. Der hohe Tonerdegehalt (Moldavite 10—12 %, Billitonite 11—12 %, Australite 10—16 %) im Verhältnis zu den Alkalien (Moldavite etwa 3 %, Billitonite etwa 5 %, Australite etwa 3,5 %), durch welchen die hohe Schmelzbarkeit bedingt wird, die Gesetzmäßigkeit und Konstanz der Mischung, widerlegen auf das bestimmteste den künstlichen Ursprung dieser Gläser. Zwei Merkmale unterscheiden die Tektite von den vulkanischen Gläsern: erstens die Abwesenheit des Wassers und zweitens das Fehlen oder die außerordentliche Spärlichkeit von Kristallmikrolithen. Fast alle Obsidianarten blähen sich vor dem Löthrohre schäumend auf, während die Tektite nur schwer und ruhig zu einem klaren Glase schmelzen.

So ähnlich auch die Substanzen, so verschieden sind die Gestalten der Glaskörper der einzelnen Tektittypen, und jede Gruppe kann an der Gestalt und Skulptur der Oberfläche sofort erkannt werden. Die Australite und die Billitonite sind selbständige runde und eiförmige Körper. Bei den Moldaviten ist das nur zum Teil der Fall. Die große Mehrzahl derselben sind Bruchstücke einer größeren Glasmasse.

Die Australite zeigen am deutlichsten die Merkmale des Fluges durch die Luft. Man kann unter den Gestalten im wesentlichen drei Typen unterscheiden. Am häufigsten sind runde Körper von Walnußgröße

oder auch größer. Sie bestehen aus einem stärker gewölbten, kugeligen oder auch ein wenig zapfenförmig in die Länge gezogenen Teile und einer niedrigeren mit größerem Radius gewölbten Kalotte. Beide Teile stoßen mit einer scharfen Kante aneinander. Oft greift der Rand der flacheren Kalotte etwas über, wie der weniger gewölbte Deckel über dem Rand eines runden Kessels. Wird die flache Kalotte größer und der Rand stark wulstförmig verdickt, so entstehen kurz-pilzförmige Gestalten. Stelzner verglich die Formen mit in Sand geschossenen Bleikugeln. Bei diesen wird der vordere Teil der erweichten Bleimasse plattgedrückt und um den nachdrückenden Kern pilzförmig zurückgestülpt. In ähnlicher Weise wurde der Randwulst der Australite erzeugt, jedoch nicht durch Auffallen auf einen festen Körper, sondern durch den Luftwiderstand der mit großer Geschwindigkeit fallenden Körper, die sich offenbar im zähflüssigen Zustande befunden haben.

Man kann Übergänge nachweisen von den runden Tropfen zu elliptischen, gestreckten Körpern. Die Abflachung auf der einen Seite bleibt oft erhalten, und es entstehen kurz-walzenförmige, manchmal einseitig flachgedrückte Formen. Weit häufiger aber sind diese gestreckten Körper in der Mitte verschmälert, sanduhrförmig; von den australischen Forschern werden diese Formen als „Dumb-bells“ (Glockenschwengel) bezeichnet. Auch sie sind Rotationsformen. An einem lebhaft rotierenden, länglich aufgeschmolzenen Körper oder zähen Tropfen wurde die Substanz nach beiden Enden auseinandergeschoben und hierdurch die Einschnürung in der Mitte erzeugt. Auf gleiche Weise entsteht nach Ansicht der Astronomen das sogenannte Jacobische Ellipsoid, von welchem See die Entstehung der Doppelsterne ableitet.

Noch sonderbarer und einzig in ihrer Art unter allen bekannten Naturkörpern ist ein dritter Typus von Australiten, der bisher nur in wenigen Exemplaren gefunden wurde. Es sind etwa apfelgroße, ziemlich dünnwandige Hohlkugeln aus Glas. So wie die oben beschriebenen Knopfformen, bestehen auch sie aus zwei Kalotten von verschiedenem Radius und überschobenem Randwulst. Eines der Exemplare von Horsham in Viktoria wurde in der Mitte auseinandergeschnitten und zeigt nun in einer Glasschale von etwa 5 mm Dicke den vollkommen glatten, fast kreisrunden Hohlraum. Irgend eine zähe Flüssigkeit, z. B. Seifenwasser, durch die Luft geschleudert, schließt sich von selbst, die Luft umfassend, zu großen Blasen zusammen. Dies ist nach meiner Meinung die Bildungsweise dieser Hohlkugeln.

Tausende von schaligen oder plattigen Scherben und mannigfach gestaltete, wulstförmige, gestreckte und gedrehte Trümmer von grünem Glas fanden sich verstreut über den Süd- und Westrand der Ebene von Budweis. Unregelmäßige, polygonale Bruchstücke — ich nannte sie Kernstücke — und individualisierte, kreisrund oder elliptisch scheibenförmige oder auch zapfenförmige Gestalten sind bisher nur in den mährischen Fundgebieten der Moldavite angetroffen wor-

den. Von kleinsten Blättchen und Splintern schwanken die Dimensionen bis zu eigroßen und größeren Körpern. Das auffallendste Merkmal der Moldavite ist aber ihre eigenartige Oberflächenskulptur. Sie besteht in Gruben und Kerben, die trotz der Mannigfaltigkeit der Ausbildung, der Verschiedenartigkeit der Formen und Größen stets sehr bezeichnend bleiben und sich nicht wieder finden unter sonstigen Geröll- oder korrodierten Scherben künstlicher oder vulkanischer Gläser. Allerdings scheinen die scharfkantig zerrissenen Exemplare, wie sie im Budweiser Gebiete häufig sind, am ehesten vergleichbar mit Ätzungs- und Korrosionserscheinungen. Es mag dahingestellt bleiben, ob eine Ätzung noch bis zu einem gewissen Grade an der Ausbildung mancher Formen beteiligt ist, aber für andere wichtige Merkmale der Moldavitskulptur versagt diese Erklärung. Es sei hier nur erwähnt, daß die Quarze und kristallinen Schiefergesteine in der Gesellschaft der Moldavite die gewöhnlichen Geröllformen besitzen ohne irgend welche Ätzungserscheinungen, und es läßt sich leicht nachweisen, daß durch Abrollung und Verwitterung die Moldavitskulptur nicht erzeugt, sondern verwischt wird.

Das letzte Wort über die Moldavitskulptur ist gewiß noch lange nicht gesprochen. Viele Einzelheiten sind unerklärt, und was sich im ganzen darüber sagen läßt, trägt den Charakter der Hypothese. Nur folgende bezeichnende Momente sollen hier hervorgehoben werden. Sie lassen sich durch eine zufällige Ätzung nicht erklären:

Wo längliche Kerben oder Furchen zu deutlicher Ausbildung gelangt sind, gehören sie an einem Stück, seien sie nun nur spärlich oder dicht gedrängt, stets beiläufig derselben Größenordnung an und sind in ihrem Verlaufe abhängig von der Gestalt des Körpers. Die Kerben verlaufen mit ihrer Längserstreckung stets quer auf die Kanten, und so kommen auf scheibenförmigen Gestalten, seien es nun abgerundete Formen oder Bruchstücke, sternförmige Zeichnungen symmetrisch auf beiden Seiten zur Ausbildung.

Es sind die Luftabströmungslinien, welche sich im Verlaufe der Kerben auf den Krümmungen der Flächen abbilden. Ich suchte nach Vergleichspunkten in den Zeichnungen, welche die Wüstenerosion durch die strömende Luft auf ruhenden Gesteinen erzeugt. Dieselbe war auch bereits früher mit der Skulptur der Meteoriten verglichen worden. Besser als die Beispiele atmosphärischer Korrosion, welche mir bekannt gewesen sind, eignen sich die von Prof. Abel zum Vergleiche mit den Moldaviten herangezogenen sternförmigen Skulpturen auf Wüstengeröll. Auf flachen Sandsteinstücken hat der windbewegte Sand durch wechselnden Angriff von verschiedenen Seiten, während die Stücke bei starkem Sturm wohl etwas gehoben und unterblasen oder auch umgewendet wurden, radiale Furchen erzeugt, welche ebenso wie die Zeichnung der Moldavite quer verlaufen über die schmalere Kante, wo sie am stärksten ausgeprägt sind und sich auf den Breitflächen beider Seiten ganz symmetrisch zu einem verwaschenen Sterne zusammenschließen. Das allge-

meine Prinzip war in beiden Fällen das gleiche. Die wirkenden Kräfte aber waren anderer Art. Die Sternzeichnungen der Wüstensteine bestehen aus langen, gewundenen, miteinander zusammenfließenden, seichten Rinnen, jene der Moldavite aber sind stets aus nahezu gleich großen einzelnen Kerben zusammengesetzt.

Es wird anzunehmen sein, daß die Moldavite, ebenso wie die ähnlichen Australite, ihren Weg durch die Luft genommen haben, daß sie mit der enormen Geschwindigkeit der Meteoriten in die Atmosphäre eingetreten und durch die plötzliche Erhitzung zersprungen sind. Viele der abspringenden Splitter waren durch ihre lebhafteste Rotation allseitigen oder mehrseitigen atmosphärischen Angriffen ausgesetzt, so daß sich die Luftabströmungslinien auf allen oder mehreren Flächen abzeichnen konnten. Versuche über die Einwirkung eines Dampfstrahles auf Kolophonium — einen Körper, der sich während des Aufschmelzens ähnlich verhält wie Glas — haben gezeigt, daß die Wirkung des heißen Gasstromes auf der amorphen Masse so wie bei den Moldaviten sich in einzelnen Angriffszentren verteilt und in Reihen geordnet Eindrücke oder Kerben zeichnet.

Ein bedeutsamer Unterschied gegenüber der Skulptur der Stein- und Eisenmeteoriten ist nicht zu leugnen; bei diesen sind die Formen weich und rund geflossen. Die Skulptur der Moldavite ist dagegen scharfkantig, manchmal sogar zackig. Vielleicht wird man den Unterschied durch die große Verschiedenheit des Materials erklären können. Bei den Gläsern ist, wie es scheint, eine flüssige Schmelzrinde, welche sich von der festgebliebenen Substanz scharf sondert, gar nicht zustande gekommen. Sie mögen beim Erhitzen sehr rasch in dünnflüssigen Zustand übergegangen sein. An die Stelle der oberflächlichen Aufschmelzung dürfte eine Art atmosphärischer Korrosion getreten sein, bei welcher die aufgelösten Teilchen in den einzelnen Angriffspunkten sofort losgerissen und vergast worden sind. Eine weitere Analyse aller Abarten der Moldavitskulptur soll hier nicht versucht werden, und es sei nur darauf hingewiesen, daß die sog. Kernstücke polygonale Trümmer größerer Glaskörper sind, an denen die Teile einer tiefgegrubten, ältesten Oberfläche meist noch erhalten sind. Ferner daß besonders unter den böhmischen Stücken viele die Anzeichen von teilweiser Erweichung oder Zähflüssigkeit in stark hervortretender Fluidalstruktur an gedrehten Formen, gestreckten Blasenräumen, wulstförmigen oder vorhangartigen Verzerrungen erkennen lassen. Die Kerbung der Moldavite kann bis zu sehr kleinen Dimensionen herabsinken und als zarte Fiederung oder Gouffrierung den größeren Furchen entlang streichen, so daß sie erst unter der Lupe deutlich wird. Sie folgt in ihrem Verlaufe denselben Gesetzen, in bezug auf die Krümmungen der Flächen, wie die grobe Kerbung. Auf einer kugeligen Oberfläche gruppieren sich die Kerben der Moldavite in größeren gemeinsamen Vertiefungen zu rosettenartigen Figuren.

Bei der großen allgemeinen Formverschiedenheit zwischen Moldaviten und Australiten sind einzelne Ver-

gleichspunkte um so wertvoller. Der schönste und am besten erhaltene Australit mit unversehrter Oberflächenskulptur ist die bereits von Stelzner beschriebene Hohlkugel der Sammlung der Bergakademie von Freiberg in Sachsen. Sie besteht dem äußeren Umriss nach, wie bereits erwähnt wurde, aus einer gewölbten Halbkugel, auf welcher eine Kalotte mit größerem Radius und übergreifendem Rande aufgesetzt ist. Die kugelförmige Wölbung ist bedeckt von eng zusammengedrängten, kleinen, scharfkantig aneinanderstoßenden Grübchen. In jedem derselben sitzt eine Gruppe allerkleinster, rosettenähnlich angeordneter, furchenartiger Kerben. Es ist dies nichts anderes als die Wiederholung der rosettenartigen Zeichnungen auf den kugelförmigen Moldaviten im stark verkleinerten Maßstabe. Der überragende Wulst der flacheren Kalotte ist mit seinem inneren Saume nicht vollkommen angeschlossen an die gewölbte Halbkugel, so daß zwischen beiden eine eng scharfbegrenzte Rinne freibleibt. In dieser Rinne ist eine feine, gruppenweise Längskerbung ausgebildet worden, vollkommen vergleichbar der zartesten Kerbung oder Fiederung, welche die größeren Furchen vieler böhmischer Moldavite begleitet. Die Wiederholung der bezeichnenden Moldavitmerkmale auf einem Objekte, welches ohne Zweifel seinen Weg durch die Luft genommen hat, dagegen keinerlei Anzeichen einer Ätzung oder sonstigen Korrosion erkennen läßt, ist entscheidend für die Auffassung, und es bleibt die Annahme gerechtfertigt, daß oberflächliche Aufschmelzung und atmosphärische Korrosion den wesentlichsten Anteil haben an der Ausbildung der Moldavitskulptur. Die großen Verschiedenheiten in den Dimensionen und Formen derselben verraten eine große Empfindlichkeit gegenüber dem Grade und der Art der Einwirkung, vermutlich bedingt durch die physikalischen Eigenschaften des Glases, welches bei steigender Temperatur alle Übergänge von höchster Sprödigkeit zum zähplastischen Zustande und bis zur vollen Dünnflüssigkeit durchläuft.

Die Billitonite, der dritte Typus der Tektite, stehen in gewisser Hinsicht zwischen den Australiten und den Moldaviten. Sehr groß ist ihre äußere Ähnlichkeit mit manchen Moldaviten, namentlich mit tiefschwarzen, lebhaft glänzenden und grobgekerbten Stücken mährischer Fundorte. Auch die durchschnittliche Größe ist dieselbe. Sie sind jedoch fast ausnahmslos selbständige Körper von kugeliger, eiförmiger, tropfenförmiger, auch walzenförmiger oder einseitig plattgedrückter Gestalt; nur ganz vereinzelt sind Bruchstücke bekannt geworden. So wie die Australite, scheinen sie sich im zähflüssigen Zustande befunden zu haben. Trotz der äußeren Ähnlichkeit sind sie von den viel mannigfaltiger gestalteten Moldaviten sehr leicht durch die anders geartete Furchung zu unterscheiden. Diese besteht bei den Billitoniten nicht aus einzelnen kürzeren Kerben, sondern aus längeren Rillen, am besten Wurmgängen vergleichbar, welche den Eindruck machen, wie wenn sie in die ursprüngliche glattere oder nur mit flachen Näpfchen bedeckte Oberfläche mit

einem scharfen Instrumente gewaltsam ausgestemmt worden wären. Sie folgen in ihrem Verlaufe keinem erkennbaren Gesetze. In willkürlichen Krümmungen schlingen sie sich um die Oberfläche des Stückes. Sichel- oder halbmondförmige Rillen sind sehr häufig. Schließt sich eine halbmondförmige Rille ganz zusammen, so entsteht eine nahezu kreisförmige Vertiefung, eine häufige und bezeichnende Skulpturform der Billitonite, von Verbeek „Höfchen“ genannt. Wenn ein Höfchen auf einer Seite mit einer gestreckten Rille zusammenhängt, so entstehen nicht minder bezeichnende bischofstabähnliche Figuren. Eng zusammengekrümmte Rillen umschließen manchmal schmalgestielte Reste der alten Oberfläche, Verbeeks „Tischchen“. Man kennt auch verzogene Gestalten mit stark hervortretender gedrehter Fluidalstruktur, auf denen die Kerbung mehr verwischt ist, und die manchen gedrehten und aufgelösten Formen von Budweis ähnlich werden. Ebenso wie die Kerben der Moldavite gehören auch die Rillen an einem Stücke immer derselben Größenordnung an.

Eine befriedigende Erklärung der Billitonitskulptur wurde bisher nicht gefunden. Korrosion durch Abreibung oder Ätzung in der Lagerstätte ist aus ähnlichen Gründen wie bei den Moldaviten ausgeschlossen. Es bleibt künftiger Forschung vorbehalten, ob Aufschmelzung und atmosphärische Korrosion oder Ausprägungen am Rande des erstarrenden Tropfens, beeinflusst durch eine molekulare krypto-perlitische Struktur des Glases sowie durch eine eigenartige Oberflächenspannung oder andere Vorgänge, die Höfchen und sonstigen Eigentümlichkeiten der Skulptur geschaffen haben.

Ein Rückblick über die besprochenen Eigenheiten dieser Gläser lehrt folgendes:

Die gesetzmäßige chemische Zusammensetzung, der hohe Schmelzpunkt (über 1300°), die Reinheit des Glases und das Fehlen irgend welcher Einschlüsse, die eigenartige Gestalt der Objekte, ihr Auftreten in jungtertiären oder diluvialen Ablagerungen, ihre Verteilung auf bestimmte ausgedehnte und auf der Erde anscheinend willkürlich verteilte Zonen und insbesondere ihr Vorkommen in Gebieten, welche erst in den letzten Jahrhunderten von kultivierten Menschen erreicht wurden, sind die Argumente, welche eine Deutung der Gläser als Kunstprodukte ausschließen.

Aber auch die Auffassung als vulkanische Gläser begegnet unüberwindlichen Schwierigkeiten. Der Gestalt nach gleichen die Tektite keiner der bekannten Typen vulkanischer Auswürflinge. Sie unterscheiden sich von den meisten unter ihnen durch die reingrüne Farbe, durch die kompakte, wenig blasige Beschaffenheit, durch die Spärlichkeit oder das Fehlen von Kristallmikrolithen und vor allem durch das Fehlen oder den Mangel des Wassers. Ihr Auftreten steht in keinem der Gebiete in irgend einer Beziehung zur geologischen Beschaffenheit. In der Mehrzahl der Fälle liegen die Objekte viele hundert Kilometer entfernt von geologisch jungen Vulkanen, und nur zufällig sind sie in einzelnen Fällen auf vulkanischen

Boden gelangt. So liegen sie in Zentralaustralien ganz frisch auf zersetzten basaltischen Lavaströmen; in den Tuffen des Leucitvulkanes Murjah auf Java liegen sie neben Eruptivgesteinen von gänzlich verschiedener chemischer Beschaffenheit. Summers hat an neueren Analysen nachgewiesen, daß die Obsidiane von Neuseeland, die Obsidiane von Coolgardie in Westaustralien und die Bimssteine des Krakatao ebenso wenig wie die Trachyte des Vulkans Erebus im fernen antarktischen Gebiete irgend eine chemische Beziehung aufweisen zu den Australiten. Vor allem aber bliebe es unerklärlich, auf welche Weise viele Tausende von Moldavitbruchstücken, welche in einem Gürtel von etwa 30 km Länge südlich von Budweis gefunden wurden, hätten ihren Weg von einem fernen Vulkane her nehmen können. Daß ein längerer Transport durch Wasser keine Rolle spielen kann, lehrt ein Blick auf die gebrechlichen Glaskugeln, von denen eine zu Horsham in Viktoria, die zweite mehr als 500 km davon entfernt auf Kangaroo-Insel bei Adelaide gefunden worden ist.

Nicht nur diese negativen Gründe, welche die Möglichkeiten eines irdischen Ursprungs erschöpfend ausschließen, zwingen uns zur Annahme einer kosmischen Herkunft. Auch einige positive Argumente werden aus den folgenden Ausführungen ersichtlich.

Die Gestalt der Australite gibt Zeugnis von einer Bewegung durch die Luft im heißen, aufgeschmolzenen Zustande, und ebenso kann die Oberflächenskulptur der Moldavite am besten durch eine atmosphärische Korrosion während eines Falles mit der Geschwindigkeit der Meteoriten erklärt werden. Vor kurzem beschrieb Herr Eichstädt einen weiteren Tektiten als einen aus reinem Glas bestehenden Meteoriten, der auf der Insel Schonen in Schweden gefunden worden war. Der Fall des Stückes ist nicht beobachtet worden, aber die Analogie mit den bisher beschriebenen Tektiten und die Eigenart der Oberfläche hatten Herrn Eichstädt veranlaßt, das Objekt als Meteoriten zu bezeichnen. Ich habe Gelegenheit gehabt, das Stück zu sehen. Es hat die tiefschwarze Farbe und den lebhaften Lackglanz gemein mit den übrigen Tektiten und wird wie diese im durchfallenden Lichte durchsichtig und zwar mit brauner Farbe. Eine chemische Analyse ist noch zu erwarten; es scheint mir aber wahrscheinlich, daß hier ein weiterer Typus von Tektiten, ein Schonit, vorliegt und zwar, nach dem hohen spezifischen Gewichte (2,7, spez. Gew. der übrigen Tektite 2,3 bis 2,5) und der dunkeln Farbe zu schließen, eine basischere Abart als die bisher bekannten. Es ist ein etwa walnußgroßes Bruchstück eines dickscheibenförmigen Körpers mit gerundeten Kanten; im Gegensatz zu den Moldaviten aber ist seine Oberfläche nur wenig gegrubt, dagegen aber mit einer chagrinartigen Oberfläche von lebhaft firnisartigem Glanze überzogen; ohne Zweifel eine Schmelzrinde, sehr nahe vergleichbar jener der bekannten Steine von Stannern. Ein bezeichnendes Merkmal der Steinmeteoriten ist hier einem Tektiten aufgeprägt, und hierdurch wird ein wichtiges Binde-

glied zwischen Hypothetischem und Bekanntem eingeschaltet.

Früher wurde gesagt, daß in den Tektiten die Stoffe in ähnlichen Mengen gemischt sind wie in natürlichen sauren Silikatgesteinen; dies gilt namentlich in bezug auf den Gegensatz zur Zusammensetzung künstlicher Gläser; dennoch dürfte sich kaum ein irdisches Gestein finden, welches einem der Tektite in chemischer Hinsicht vollkommen gleichkommt.

Die chemischen Eigentümlichkeiten der Tektite können an dieser Stelle nicht im einzelnen diskutiert und ziffernmäßig belegt werden. Nur einige Bemerkungen sollen hier Platz finden. Australite, Billitonite und Moldavite sind in chemischer Hinsicht wohl unterscheidbar, und zwar noch deutlicher durch die Mischungsverhältnisse der Metalloxyde als durch den verschiedenen Kieselsäuregehalt. Sie stammen offenbar von verschiedenen Ereignissen. Im Vergleiche mit irdischen Gläsern von ähnlichem Kieselsäuregehalt enthalten jedoch alle im Verhältnis zu den Alkalien bedeutend größere Mengen von Eisen, Magnesia und Kalk. Der Kaligehalt ist gegenüber dem an Natron in allen Tektiten auffallend hoch. Er steigt in den Moldaviten zu einer Höhe, die in irdischen Gesteinen von gleichem Kalkgehalte niemals angetroffen wird, während der Natrongehalt sehr niedrig bleibt. Bei irdischen Laven würde vielmehr nach allen Erfahrungen zugleich mit dem Kalkgehalt der Natrongehalt zunehmen. Wenn wir mit Vogt u. a. annehmen, daß die Differentiationsfolge in den Magmen parallel verläuft mit der Kristallisationsfolge, daß sich bei der Abspaltung der Mischungen die Bestandteile des Plagioklases Calcium und Natrium in gleicher Richtung bewegen und sich lostrennen von den Bestandteilen des Kalifeldspats, dann werden wir bei einem außerirdischen Glas, dem niemals Gelegenheit zur Kristallisation und Differentiation gegeben war, ähnliche Gesetzmäßigkeiten der Mischung nicht erwarten dürfen, und obige „Mißverhältnisse“ — wenn ich so sagen darf — in den Stoffmengen haben nichts Befremdendes mehr an sich.

Nach dem übereinstimmenden Urteile der Fachmänner wurden die Meteoriten in der Abwesenheit von Wasser gebildet. Selbst mikroskopische Flüssigkeitseinschlüsse fehlen vollkommen; vereinzelte Angaben hierüber werden angezweifelt. Am Monde erkennt man kein Wasser und keine Atmosphäre; auch die anderen kleineren Himmelskörper, welche zu Meteoriten zertrümmert wurden, scheinen wasserfrei gewesen zu sein. Für die grobkristallinen meteorischen Eisen wird ein langsamer Bildungsprozeß im Innern der Weltkörper angenommen. Die Meteorsteine aber bieten vielfach Anzeichen rascher Erstarrung und überhasteter Kristallisation. Glassubstanz umschließt oft die Olivine. Manche Chondren sind halbglasig, und einzelne unter ihnen sind schon als Produkte weitgehender Entglasung einzelner Glaskügelchen gedeutet worden. Es sollen dünnflüssige Tropfen gewesen sein, und die Chon-

drite werden mit irdischen Tuffen, zerstäubten Massen und Explosionsprodukten der Vulkane verglichen.

Man schließt seit Daubrées zusammenfassenden Studien über die Mengenverhältnisse der verschiedenen Arten von Meteoriten in den Sammlungen und auch aus den Erfahrungen über das Gewicht der Erde, daß den Meteoriten ähnliche Massen das Innere der Erde und anderer Planeten bilden. Olivinreiche Meteorsteine gelten als Vertreter einer nächsten Hülle von basischen Silikaten, vergleichbar basischen Eruptivgesteinen der Erde, welche einer tieferen Zone angehören.

Wenn wir an der Parallele mit der Erde festhalten, so ist kein Grund zu sehen, warum unter den Meteoriten nicht auch die sauren Silikate vertreten sein sollten. Im Gegenteil, wir sollten dieselben erwarten als die Repräsentanten der obersten glasig erstarrten Zone, als die eigentlichen Schlacken zu dem Eisenkern, und zwar müßten wir erwarten, daß sie am schnellsten als Gläser erstarrt und wie die übrigen Meteoriten wasserfrei sind. Die Tektite erfüllen diese Erwartungen.

Es scheint mir demnach und auch mit Rücksicht auf die chemische Zusammensetzung nicht wahrscheinlich, daß die Tektite, etwa wie die von Berwerth unterschiedene Gruppe der Metabolite oder die zu dem als Maskelynit bezeichneten Glase umgeschmolzenen Kalknatronfeldspate mancher Meteorsteine, durch eine Erhitzung im Weltraume ihre gegenwärtige Beschaffenheit erhalten hätten. Auch schließe ich aus den Bruchstücken unter den Moldaviten, daß sie als Gläser schon unsere Atmosphäre erreicht haben und nicht etwa erst durch die Erhitzung während des Falles umgeschmolzen worden sind.

Die Steinmeteoriten verwittern bekanntlich sehr rasch unter dem Einflusse der irdischen Atmosphären. Auch die meteorischen Eisen vergangener Epochen sind längst der Oxydation anheimgefallen. Die meteorischen Gläser aber konnten uns, wie der Augenschein lehrt, wenn sie massenhaft auftraten, seit der Tertiärzeit erhalten bleiben; sie allein können uns Kunde geben von außerordentlichen meteorischen Vorgängen vergangener Zeiten. Sie erinnern uns daran, wie bescheiden unsere Erfahrungen sind, und daß wir unseren alltäglichen Maßstab nicht anwenden können auf die Beurteilung kosmischer Ereignisse. Auch die bedeutendsten bekannten Steinregen, jener von Pultusk in Russisch-Polen (30. I. 1868) mit einer Streufläche von 17 km Länge, den man auf mehr als 100 000 Stücke schätzt, oder jener von Mocs in Siebenbürgen (3. II. 1882) mit einem Streukegel von 27 km Länge, verschwinden gegenüber der Unzahl von moldavitischen Scherben, die auf 150 km zwischen Budweis und Trebitsch verstreut wurden. Auch diese Katastrophe muß noch weit zurückstehen gegenüber dem Hagel von glühenden Glastropfen, der sich eines Tages zur Diluvialzeit über den ganzen Süden des australischen Kontinents ergossen hat.