

DIE ENTSTEHUNG DER TEKTITE UND IHRE OBERFLÄCHE.

Von

H. MICHEL.

(Mit 1 Abbildung im Texte.)

I.

Seit F. E. Sueß im Jahre 1898 (Jahrb. d. geol. R. A., Wien 1900, 50, 193) systematisch das Problem der Herkunft jener merkwürdigen Glaskörper behandelt hat, die man seit langer Zeit aus Südböhmen und Mähren als Moldavite, aus dem Süden des australischen Kontinents als Australite, von der Zinninsel Billiton und ihrer Umgebung als Billitonite kennt, zu denen noch eine vierte, später beschriebene Gruppe der Queenstownite vom Mount Darwin bei Queenstown in Tasmanien kommt, hat sich eine reiche Literatur mit der weiteren Klärung dieser Frage beschäftigt, die zum großen Teil in einer zweiten zusammenfassenden Arbeit von F. E. Sueß (Mitt. d. geol. Ges. Wien 1914, 41, hiezu Zentralbl. f. Min. usw., 1916, 569) verarbeitet wurde, der für diese Körper auch die Bezeichnung Tektite einfuhrte. Aus den später erschienenen Arbeiten sei nur die große systematische Untersuchung von R. W. van der Veen herausgegriffen (Verhandelingen van het Geologisch Mijnbouwkundig Genootschap voor Nederland en Kolonien, Geol. Ser. VI, S. 15—41, 1923), der die Frage studierte, ob die Tektite als Gläser oder als Kolloide aufzufassen sind, sich eingehend mit dem Verhalten der Tektite gegen Ätzmittel und mit der Oberfläche der Tektite beschäftigte und sie als chemisch korrodierte Glaskörper wahrscheinlich kosmischen Ursprungs befand. Von einer Arbeit Wing Eastons, der die Tektite als ausgetrocknete Bodenkolloide auffaßt, wird unten noch die Rede sein. Ein Eingehen auf die Arbeiten anderer Forscher, unter denen sich auch eine Reihe von Gegnern des angenommenen kosmischen Ursprungs der Tektite befinden, erübrigt sich an dieser Stelle.

Will man ganz kurz die hauptsächlichsten Merkmale der einzelnen Gruppen der Tektite und die Gründe für ihre wahrscheinlich kosmische Herkunft zusammenfassen, läßt sich folgendes sagen. Die meist scherbenförmigen, manchmal auch zapfenförmigen oder scheibenförmigen Moldavite sind außerordentlich reich skulpturiert, die mehr zylindrischen bis birnförmigen Billitonite zeigen breite Rillen, die Australite zeigen ausgesprochene Rotationsformen, es sind knopfförmige bis sanduhrförmige, kugelige (darunter auch hohle) Gebilde mit ganz schwacher Skulpturierung. Diese beiden letzten Gruppen hatten schon 1897 Walcott und 1897 Verbeek veranlaßt, eine außerirdische Abstammung für sie anzunehmen. Die vierte Gruppe der Tektite, die Queenstownite mit mannigfaltigen gestreckten und gezerzten fladenartigen Formen soll hier ausgeschaltet bleiben, weil hievon zu wenig Material zur Verfügung stand (vgl. die Abbildung).

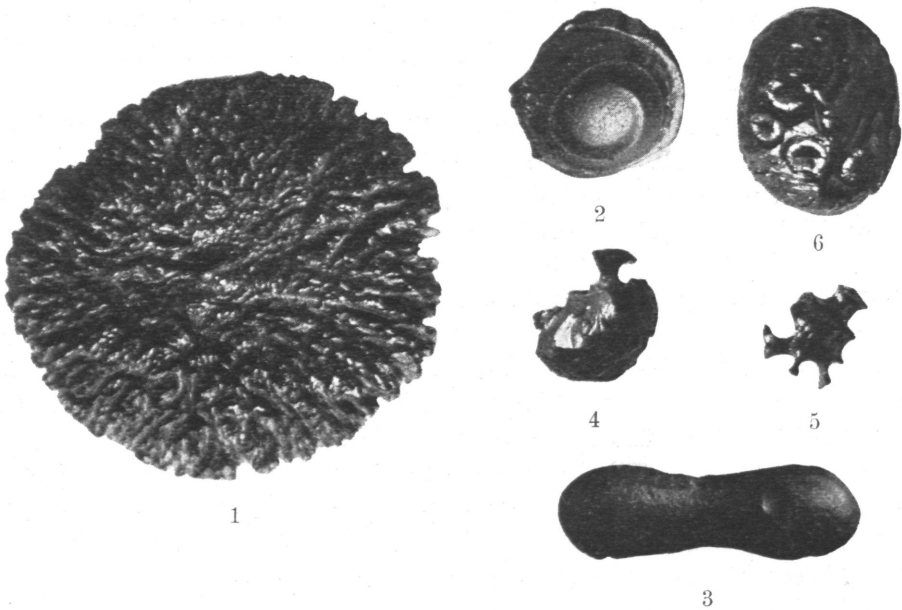
Als gemeinsam ergibt sich für alle drei Gruppen ihre weite Verbreitung; die Moldavite finden sich auf Gebieten über 100 und mehr Kilometer Entfernung, die Billitonite auf Entfernungen über 1500 *km*, bei den Australiten kommen Strecken von etwa 4000 *km* in Betracht. Sie kommen nur an wenigen Punkten der Erde vor, aber dann massenhaft. Jeder Typus ist in seiner Form und seinem Chemismus konstant, die Typen ähneln einander in der Zusammensetzung sehr, doch haben sie geringe charakteristische Unterschiede.

Der Nachweis, daß es sich um keine irdischen Produkte handeln kann, ist zunächst in negativer Form zu führen. Die silikat- und tonerdereichen Tektite sind stofflich ganz verschieden von allen bekannten künstlichen Gläsern und Schlacken und sind so schwer schmelzbar, daß in den modernsten Öfen die Erzeugung derartiger Gläser auf Schwierigkeiten stößt und an eine etwa zufällige Herstellung durch den Menschen oder Entstehung bei Hüttenprozessen nicht zu denken ist. Zudem scheint ihr geologisches Alter größer zu sein als der Zeitraum des Auftretens des Menschen auf der Erde (vgl. weiter unten P. Hövig). Der Kulturschwerpunkt Westeuropas hat im Diluvium übrigens in Westeuropa gelegen und nicht in den Fundgebieten der Moldavite, und aus den Gegenden, in denen die Billitonite und Australite gefunden werden, ist auch heute noch keine Töpferei bekannt geworden. Die Tektite können also nicht Produkte alter Kulturen oder schlackenartige Abfallsprodukte bei irgendwelchen technischen Prozessen sein.

Gegen ihre vulkanische Abstammung spricht der Umstand, daß es wasserfreie und mikrolithenfreie, außerordentlich schlierige Gläser sind und daß sich ihr Chemismus ganz charakteristisch von dem der irdischen Gesteine unterscheidet, welche uns vulkanische Gläser liefern. Es käme z. B. bei den Australiten übrigens ein Transport über Strecken von mehr als 4000 *km* in Betracht und es müßte angenommen werden, daß die vulkanischen Produkte über diese Strecke durch die Luft geschleudert worden wären, da sich im Gebiete der Australite kein Vulkan findet, von dem sie abstammen könnte. Es hätte demnach an drei voneinander ganz getrennten Orten der Erde unter Erscheinungen, die uns ganz unbekannt sind, ein unseren irdischen Gesteinen bisher fremder Magmentypus gefördert werden müssen.

Eine dritte Entstehungsmöglichkeit ist kürzlich von Wing Easton (Verh. Kon. Ak. v. Wetenschappen te Amsterdam, II. Ser., Deel XXII, Nr. 2, 1920) angenommen worden, der sich vorstellt, daß die Tektite nicht aus dem Schmelzfluß erstarrte Gläser seien, sondern ausgetrocknete Kolloide, die als Xerolithe zu bezeichnen wären. Durch die Einwirkung von Humusstoffen entstehen im Boden kolloide Lösungen, die an gewissen bevorzugten Stellen gesammelt werden und nun in den verschiedenen Jahreszeiten einmal aufquellen und dann wieder eintrocknen. Es erfolgte fortwährend Stoffzufuhr und wenn der Austrocknungsprozeß der durch Elektrolyte koagulierten Lösungen einmal soweit gegangen ist, daß der Prozeß nicht mehr umkehrbar ist, dann sollten eben glasartige Körper vom Typus der Tektite vorliegen. Die Oberflächenformen erklärt sich Wing Easton durch das Entweichen von Gasen aus dem austrocknenden Gel. Gegen diese Auffassung sprechen zahlreiche Gründe, die namentlich F. E. S u e ß geltend gemacht hat (Zentralbl. f. Min., 1922, S. 227); zunächst der Umstand, daß die Tektite wasserfrei sind. Auch die größte Trockenheit und Erwärmung in einem irdischen Klima könnte diesen Gelen nicht alles Wasser entziehen. Niemals finden sich diese Produkte als Krusten auf Gesteinen, nie sind jene Trübungen vorhanden, die in allen Bodenkolloiden nachweisbar sind. Es fehlen nierenförmige oder traubige Formen gänzlich. Wollte man eine

derartige Entstehung annehmen, so müßten sich derartige ausgetrocknete Kolloide in allen Regionen der Erde finden, in denen gleiche klimatische Verhältnisse herrschen und sich auch jetzt noch unter den gleichen Bedingungen bilden. Dazu kommen weitere physikalisch-chemische Gründe, die in der zitierten Arbeit von van der Veen zu finden sind. Die Moldavite und Billitonite zeigen nach Veen keinen Tyndalleffekt wie anorganische Hydrogele, die Untersuchung von Tektiten nach der Methode von Debye und Scherrer ergab, daß es sich nicht um kolloide Körper, sondern um Gläser handle. Jüngst hat auch F. Rinne (Zeitschr. für Krist. 60, S. 69, 1924) einen mährischen Moldavit nach der Debye-Scherrer Methode geprüft und amorph befunden. Es wird die



1. Moldavit von Budweis, schaliges Stück mit tiefen sternförmig und radialstrahlig angeordneten Korrosionsfurchen.
2. Australit, Rotationsform, knopfförmig mit spiraler Zeichnung auf der Vorderseite, durch Rotation während des Fluges erworben.
3. Australit, Rotationsform, mit eingeschnürtem Mittelteil.
4. und 5. Billitonite mit gestielten Resten einer früheren Oberfläche, bei weiterer Korrosion entsteht ein „Höfchen“ mit dem Reste des Stieles in der Mitte.
6. Billitonit, walzenförmiges Stück mit breiten Rillen und „Höfchen“.

Auffassung Wing Eastons im allgemeinen scharf abgelehnt, nur P. Hövig hat kürzlich (Verhandl. v. h. Geol. Mijnbouwk. Gen. v. Nederland en Kolonien, geol. Ser. Deel VII, S. 1—13, 1923) die Möglichkeit einer derartigen Entstehung für die Billitonite zugegeben, ohne aber die Möglichkeit einer kosmischen Herkunft völlig zu leugnen. Jedenfalls hat er aber gezeigt, daß ihr Vorkommen in keinem Zusammenhang mit den Erzen steht, und wahrscheinlich gemacht, daß die Billitonite als rundliche Glasklumpen ohne Skulptur zusammen mit dem Gesteinsdetritus zu Anfang des ariden postmitteljurassischen Klimas an ihre gegenwärtigen Fundorte gelangt sind.

Man kann also für die Tektite weder eine künstliche Entstehung annehmen, noch sie als vulkanische Produkte auffassen und schließlich auch nicht ihre Entstehung als Bodenkolloide glaubhaft machen, wie aus diesen negativen Gründen hervorgeht.

Dagegen läßt sich eine ganze Anzahl von positiven Gründen anführen, welche für die kosmische Entstehung dieser Produkte sprechen. Die Verteilung der einzelnen Stücke in den Verbreitungsgebieten der Tektite über hunderte und tausende Kilometer ist eine rein zufällige, wie sie am besten zu erklären ist durch die Ausstreuung von oben her. Die Gestalt der Australite insbesondere jener, welche typische Rotationsformen zeigen, weist darauf hin, daß diese Körper einen Flug durch die Luft mitgemacht haben müssen. Die verschiedene Gestalt ist durch den verschiedenen großen Viskositätsgrad der einzelnen Gläser bedingt. In chemischer Beziehung nehmen die Tektite eine ausgesprochene Sonderstellung ein, so daß eine Tektitanalyse (z. B. die eines Moldavites mit folgenden Zahlen: SiO_2 77·78%, Al_2O_3 11·56, Fe_2O_3 —, FeO 2·54, MnO 0·15, MgO 1·52, CaO 1·34, Na_2O 0·68, K_2O 3·26, TiO_2 1·40, Summe 100·23%) sofort von der Analyse eines irdischen Gesteines zu erkennen ist. Dabei zeigen alle drei Gruppen gewisse Eigentümlichkeiten, die sie untereinander trennen. Gemeinsam ist der höhere Gehalt an Oxyden von Magnesium und Eisen, als er bei irdischen Gesteinen gleicher Azidität zu finden ist, worauf Högbom (Bull. of the geol. Inst. of Upsala, Nr. 9, vol. V, Pt. 1, 1900) aufmerksam machte, weiters nach Hillebrand (Ann. Rep. of the Sect. of Mines, Tasmania 1905, S. 21) und Summers (Proc. Roy. Soc. Victoria, vol. XXI, 1909, S. 423) das eigentümliche Verhältnis von Kalk und Alkalien. Kalk und Kali überwiegen über Natron bei hohem Kieselsäuregehalt. Der Kieselsäuregehalt sinkt von den Moldaviten gegen die Billitonite und Australite, damit nimmt auch die Viskosität der Gläser ab, und das prägt sich wieder in der Form der Gläser aus. Die am wenigsten viskosen Gläser, die Australite, zeigen die Rotationsformen, die sauersten, am höchsten viskosen Gläser, die Moldavite, zeigen mit Vorliebe Scheiben, Zapfen, flache Scherben, während die in der Mitte liegenden Billitonite als Grundformen birnförmige, zylindrische, oval abgerundete Körper bilden. Auch hinsichtlich physikalischer Eigenschaften nehmen die Tektite eine Sonderstellung ein, wie z. B. jüngst C. E. Tilley (Min. Mag. 1922, Bd. 19, S. 275) zeigte, der das Verhältnis zwischen Lichtbrechung, Dichte und Zusammensetzung von natürlichen und künstlichen Gläsern behandelte.

Die eben erwähnten Grundformen der drei Gruppen werden in entscheidender Weise durch Detailformen modifiziert, die wieder für die drei Gruppen charakteristisch sind. Bei den Moldaviten sind es in nicht abgerollten Stücken scharfe Kerben, die sich oft sternförmig an flachen Stücken anordnen und eine außerordentlich reiche Skulpturierung bedingen. Die Billitonite sind durch wurmförmige breitere Rillen ausgezeichnet und namentlich durch sogenannte Höfchen, das sind kreisrunde vertiefte Flächen mit einer kleinen Erhöhung in der Mitte. Die Australite zeigen die geringste Detailskulptur, dafür ist ihr Grundformtypus reicher ausgestattet. Es sind knopfförmige Gebilde mit einem Wulst am Rand, manchmal einer spiralenförmigen Zeichnung auf der Vorderseite, sanduhrförmige, bisweilen etwas zylindrische Gebilde, ebenfalls oft mit Randwülsten ausgestattet, als große Seltenheiten auch Hohlkugeln. Alle Eigentümlichkeiten lassen sich durch Rotation in zähflüssigem Zustand erklären (vgl. die Abbildung).

Die Detailformen wurden von mehreren Autoren als starke Beweise für die außerirdische Herkunft der Tektite gehalten; es sollten sich die Luftabströmungslinien in diesen Formen widerspiegeln. Gewiß sind die Luftabströmungslinien mitbestimmend für die Anlage der Kerben und Rillen, aber sie sind es nicht allein. Es ist gelungen (Ježek, Woldřich, Merrill, Wright, zuletzt van der Veen), durch Ätzung an Gläsern Oberflächenformen zu erzeugen, welche durchaus denen der Tektite entsprechen. Wenn keine vollkommene

Gleichheit herzustellen ist, so mag das darauf zurückzuführen sein, daß in der Natur diese Ätzung mit viel schwächeren Ätzmitteln in entsprechend längerer Zeit vor sich geht. P. Hövig hat (l. c.), sowie vereinzelt frühere Autoren, die Ursachen der Skulpturierung der Billitonite im Wüstenwind und Wüstensand erblickt.

Der Zusammenhang, der sich zwischen Grundform und den Detailformen zeigt, ist wohl auf eine Prädisposition zurückzuführen, die jeweils in den einzelnen Stücken der drei Typen liegt und durch den Chemismus der Gläser ursprünglich bedingt ist. Für die Ausprägung der Detailformen wird in erster Linie nach Ansicht des Verfassers maßgebend sein:

1. die chemische Zusammensetzung der Gläser und des Ätzmittels, welches die Korrosion herbeiführt, weiters die klimatischen Verhältnisse, unter denen die Korrosion stattfindet, sowie

2. die Schlierenbildung, die in reichem Maß in allen Tektiten zu beobachten ist; je nach der Anlage der Schlieren infolge der für die Tektite weiter unten angenommenen Entstehung wird die Korrosion verschiedene Formen bevorzugen. In diesen Schlierenbildungen äußert sich auch die Lage der Luftabströmungslinien, es werden Zonen etwas verschiedener chemischer Zusammensetzung entstehen und weiters sich auch Spannungszonen bilden, die gleichfalls für die Korrosionsformen bedeutsam werden können. Grundform und Detailform werden auf diese Weise immer im Zusammenhang stehen müssen;

3. es wird auch sonstige besondere Ansatzstellen für die Korrosion geben, etwa Risse, Sprünge, Blasen im Material und

4. werden die Abflußrichtungen des Lösungs- und Ätzmittels, die je nach der Lage des Glases im Boden sich ändern können, von Einfluß auf die Lage der Kerben und Rillen sein können.

Es würde uns also die schließliche Endform, in der uns die Gläser entgegentreten, als ein Kompromiß erscheinen, das unter Mitwirkung obiger Faktoren zustande kommt. Die Grundform ist auf den Chemismus (Viskosität) der Gläser zurückzuführen, wobei geringe Unterschiede schon die Viskosität weitgehend beeinflussen können; die Detailformen kommen unter Mitwirkung einer bei der Bildung und beim Fluge durch die Luft erworbenen Prädisposition durch Ätzung mit schwachen Ätzmitteln und während langer Zeiträume zustande.

Beweisend für die Behauptung, daß die Detailformen auf irdische Korrosion zurückzuführen sind, scheinen dem Verfasser die Billitonite zu sein, auf denen sich noch Reste einer früheren Oberfläche in Form eines gestielten „Tischchens“ zeigen. Diese Formen können weder durch Abschmelzung in der Luft, noch etwa durch Windwirkung entstanden sein, sondern nur auf Korrosion zurückgeführt werden. Bisweilen finden sich an einem Stück mehrere solche Gebilde in verschiedenen Stadien, das Endstadium ist das „Höfchen“ mit dem Reste des Stieles in der Mitte. Ausgezeichnet zeigen diese Erscheinung Stücke, welche in Fig. 4 und 5 wiedergegeben sind und die das Naturhistorische Museum in Wien Herrn Bergingenieur H. W. de Vriendt verdankt.

II.

Bezüglich der Abstammung der Tektite herrscht die Vorstellung, daß kosmische Glasmassen in die Atmosphäre eingetreten sind, während des Fluges durch die Atmosphäre der Erde aufgeschmolzen wurden (hieszu mußte eine Flugdauer von durchschnittlich

vier Sekunden hinreichend sein), wozu noch ein Zerspringen in einzelne Teile und Scheiben kommen wird. Die Glasmassen selbst sollen eine Art saure silikatische Schlackenhülle von Himmelskörpern dargestellt haben, etwa in der Art, wie auch die Erde aus einer Hülle von Silikaten um einen Kern von Nickeleisen besteht. Diese saure glasige Schlackenhülle soll den Gegenpol zu den basischen Massen darstellen, die uns bisher in den Meteoriten vorliegen. Es ist ja tatsächlich merkwürdig, daß als Meteoriten nur Nickeleisenmassen und magnesia- sowie eisenreiche basische Gesteine bekannt sind, während Vertreter saurerer Gesteine, etwa vom Typus der Granite und Syenite, unter den Meteoriten fehlen. Die Tektite sollen nun diesen Typus in glasiger Ausbildung vertreten.

Verfasser meint auch, daß die Tektite die sauren Endglieder der in den Meteoriten vertretenen Gesteinsreihe darstellen, aber für die Entstehung dieser Massen scheint ihm eine andere Überlegung den richtigen Weg zu weisen. W. Wahl hat in einer sehr interessanten Studie über die Chemie der Meteoriten (Zeitschr. f. anorg. Chem., Bd. 69, 1910, S. 52) gezeigt, daß das Ausgangsmaterial für alle Meteoriten ärmer an Sauerstoff ist als die uns zugänglichen irdischen Gesteine. Von der wechselnden Menge des Sauerstoffes ist der Mineralbestand der einzelnen Meteoriten abhängig und es hat der Sauerstoffmangel oft eine ganz andere Mineralkombination zur Folge. Wenn zum Beispiel in einem Gemenge von Nickeleisen mit dem Orthosilikat des Magnesiums und Eisens (Olivin) Sauerstoffmangel eintritt, bildet sich daneben das Metasilikat, welches weniger Sauerstoff verbraucht; schließlich kann der Fall eintreten, daß der Sauerstoff nur zur Bindung des Siliziums ausreicht, dann findet man ein Gemenge von Nickeleisen mit Tridymit. Alle derartigen Fälle sind bekannt.

Ebenso beruht der Unterschied in der Mineralzusammensetzung der Enstatitichondrite und der gewöhnlichen Chondrite nur auf wechselndem Sauerstoffgehalt. Als Folge des niedrigen Sauerstoffgehaltes tritt weiter in manchen Meteoriten ein in irdischen Gesteinen unbekanntes Mineral auf, der Oldhamit = Ca S. Es reicht offenbar in diesen Fällen der Sauerstoff nicht mehr zur Bindung des Ca aus und an seine Stelle tritt S. Daß sich in den Meteoriten metallisches Eisen findet, ist gleichfalls diesem Sauerstoffmangel zuzuschreiben. Wenn nämlich die Menge des Sauerstoffes nicht ausreicht, um alle Elemente zu oxydieren, so werden in erster Linie jene Oxyde gebildet werden, welche nicht von den anderen Elementen reduziert werden. Nun werden die Oxyde des Eisens von den meisten Leichtmetallen, jedenfalls von den meisten in Meteoriten auftretenden Metallen reduziert und deshalb tritt gerade das Nickeleisen in metallischer Form auf.

Das Auftreten von Ca S in Meteoriten, manchmal neben freier Si O₂, kennzeichnet offenbar schon die Grenzfälle; ist noch weniger Sauerstoff vorhanden, tritt der Fall ein, daß die Leichtmetalle nicht mehr zur Gänze an O oder S gebunden sind, sondern in gediegenem Zustand vorhanden sein müssen. Es wird aber ein Meteorit, der Leichtmetalle in nichtoxydiertem Zustand enthält, die Oberfläche der Erde nicht erreichen können, da er beim Eintritt in die Atmosphäre unter Oxydation verbrennt. Nur wenn viel Eisen da ist, wird der Sauerstoffmangel in der Form überwunden, daß das Eisen in gediegenem Zustand auftritt und der spärliche Sauerstoff die dann ebenfalls spärlich auftretenden Leichtmetalle bindet. Ist ein größerer Gehalt an Leichtmetallen da (entsprechend den irdischen Graniten, Syeniten, Dioriten), reicht offenbar der Sauerstoff und S nicht mehr aus, um die Leichtmetalle zu binden und derartige kosmische Massen oxydieren sich dann in der Atmosphäre der Erde. Es ist also verständlich, warum saure, den Graniten entsprechende Meteoriten fehlen.

An und für sich wird die Menge dieses saueren, an Leichtmetallen reichen und Eisen ärmeren Materiales geringer sein als die Menge basischen, eisenreichen Materiales. Wie E. Sueß in einer Studie „Über Einzelheiten in der Beschaffenheit einiger Himmelskörper“ (Sitzber. Akad. d. Wissensch. Wien, math.-nat. Kl., 116 Bd., Abt. I, 1907, S. 1557) ausgeführt hat, sind nach Beobachtungen von Sir Lockyer die Metalle, welche in den Spektren der Sonne, der Chromosphäre und von α -Cygni in auffallender Weise vertreten sind, im großen dieselben, welche die irdischen basischen Felsarten begleiten. Die typischen Metalle der saueren Gesteine erscheinen dagegen nicht.

In der Tat hat N. L. Bowen, ein verdienstvoller junger Forscher des Carnegie-Instituts (Journ. of Geol., 26. Bd., Suppl. zu Nr. 8, 1915), plausibel zu machen gewußt, daß das primäre Urmagma ein basaltisches Magma sein muß und daß daraus durch Kristallisationsdifferentiation etwa 10–15% saurerer Gesteine entstehen. Die saueren Gesteine erscheinen uns nur deshalb überwiegend, weil sie vorzugsweise die höchsten Schichten der Silikathülle einnehmen.

Es stimmt also damit überein, daß das Meteoritenmaterial in der Hauptmasse basischer Natur ist und ein verhältnismäßig geringer Prozentsatz saueren Materials zu erwarten sein wird. Nun wurde oben im Sinne der Wahlschen Arbeit wahrscheinlich gemacht, daß saure Massen wegen ihres Gehaltes an nicht oxydierten Leichtmetallen die Erde überhaupt nicht erreichen können, sondern unter sternschnuppenähnlichen Phänomenen in der Atmosphäre entweder verbrennen oder sie nach Aufleuchten wieder verlassen.

Es ist interessant, hier auf jene Beobachtungen zu verweisen, welche bezüglich der stofflichen Zusammensetzung der Kometen und ihrer Schweifbildungen gesammelt wurden. Es gibt eine ganze Reihe von Kometen, die von unserem Sonnensystem eingefangen, sich auf elliptischen Bahnen bewegen, sich nach wiederholter Wiederkehr auflösen und dann zu gewissen Zeiten (wie etwa die Lyriden in der zweiten Aprilhälfte, die Perseiden zwischen dem 9. und 14. August, die Leoniden zwischen dem 12. und 16. November und die Ende November erscheinenden Bieliden) Anlaß zu besonders zahlreichen Sternschnuppenerscheinungen liefern. Man hat verschiedene Schweiftypen unterschieden (je nach der bei der Schweifbildung eine wichtige Rolle spielenden „Repulsivkraft“). Die Schweife des ersten Typus bestehen wahrscheinlich aus Wasserstoff, die Schweife des zweiten Typus sind reich an Substanz, es ist wahrscheinlich Kohlenstoff, Stickstoff, Natrium und Magnesium in ihnen vertreten, in den Schweifen des dritten Typus sind die schweren, auch in den Meteoriten vorkommenden Elemente vorhanden, Eisen, Nickel, Kalzium usw. Es besteht eine überraschende Ähnlichkeit des Spektrums vieler Kometen mit dem der Kohlenwasserstoffe, daneben zeigte aber z. B. der Komet Wells (1882), nachdem anfangs auch nur dieses Spektrum deutlich sichtbar gewesen war, später zur Zeit der größten Sonnennähe deutlich die Linien glühenden Natriumdampfes, die so stark auftraten, daß die anderen Banden ganz übertönt wurden und der ganze Komet gelblich erschien. Besonders Hasselberg (vergl. J. v. Hepperger in d. Schriften d. Vereins z. Verbr. naturwiss. Kenntnisse, 1904, 45. Bd., S. 202) hat diese Erscheinungen studiert, sie experimentell nachgeahmt und ist so zu dem Schlusse gekommen, daß beim Kometen Wells unter dem Einflusse der Sonnenwärme das im Kometen enthaltene Natrium verdampfte, daß dann durch elektrische Entladungen Lichterscheinungen hervorgerufen wurden. In dem im September des gleichen Jahres 1882 erschienenen Septemberkometen war wahrscheinlich Magnesium neben Natrium vorhanden. Die Erscheinungen

verliefen ganz ähnlich wie beim Kometen Wells. Schon nach Ablauf der dem Periheldurchgange folgenden Woche zeigte sich wieder das gewöhnliche Spektrum der Kohlenwasserstoffe. Es ist also die Annahme durchaus begründet, daß die Schweife des zweiten Typus, dazu gehören die beiden beobachteten Kometen, die leichten Alkalien enthalten. Sie werden voraussichtlich in nicht oxydierter oder nicht völlig oxydierter Form vorhanden sein.

Nun ist es nach Ansicht des Verfassers durchaus nicht von vornherein anzunehmen, daß stets eine vollständige Verbrennung solcher nicht völlig oxydierter Massen stattfinden wird. Vielmehr ist anzunehmen, daß bei entsprechend großer Menge solcher teilweise nicht oxydierter Massen keine völlige Verbrennung eintreten wird, sondern sich als Produkt des Oxydationsvorganges eine Schmelze in zahllosen Tropfen bilden wird, die sehr kieselsäurereich sein muß, aus der ein Teil der Leichtmetalle durch Verdampfen austreten wird, die aber im großen und ganzen den saueren irdischen Gesteinen entsprechen kann.

Diese saueren Schmelzen, die nicht so sehr wegen der Reibung in der Atmosphäre zum Schmelzen kommen als wegen der großen bei der Oxydation der Leichtmetalle entstehenden Wärme, sind nun das Material, welches wir auf der Erde in Form der Tektite wiederfinden. Sie werden stets entstehen aus nur sehr großen mehr oder weniger lockeren Massen mit teilweise nichtoxydierten Leichtmetallen. Kleinere derartige Massen werden nur sternschnuppenartig aufleuchten und zur Gänze verbrennen. Die saueren Massen werden nun während der kurzen Zeit, die sie in der Atmosphäre verweilen, nicht kristallin, sondern nur glasig erstarren, werden nicht durchgemischt werden können, sondern stark schlierigen Aufbau zeigen müssen, sehr viskos sein, sich nach Überwindung der kosmischen Geschwindigkeit noch in der Atmosphäre abzukühlen beginnen und sich dadurch mit Spannungerscheinungen belasten, kurz alle jene Voraussetzungen erwerben, welche oben zur Erklärung der Skulptur der Tektite gemacht wurden. (Es ist auch der Fall denkbar, daß derartige Gläser auch dann entstehen, wenn solche nicht oxydierte Massen in die Atmosphäre eintreten, sich oxydieren und dann die Atmosphäre wieder verlassen. Derartige glasige Gebilde könnten dann wiederholt in die Atmosphäre eintreten.)

Entschließt man sich zu dieser Annahme, so läßt sich erklären, was als bezeichnend für die Tektite hervorgehoben wurde. Tektite werden selten auftreten, wenn sie aber entstehen, so werden sie in großer Zahl und in großer Menge entstehen müssen. Sie werden entsprechend der lockeren Verteilung derartiger Massen über sehr weite Gebiete verteilt sein. Im Durchschnitt werden ähnliche Gläser bei verschiedenen Fällen entstehen, aber jede solche große lockere Masse, die einem Tektitfalle entspricht, wird in sich ziemlich konstante Zusammensetzung zeigen. Man braucht nicht mehr daran zu zweifeln, ob es möglich ist, daß eine glasige Masse während des nur wenige Sekunden dauernden Fluges durch die Atmosphäre gänzlich geschmolzen wird, die Hohlkugeln der Australite finden ihre Erklärung, das Verdampfen flüchtiger Stoffe erleichtert das Verständnis der abnormalen chemischen Stellung. Spannungerscheinungen, wie sie F. E. Wright (Bull. geol. Soc. of Am., Bd. 26, S. 280) an Tektiten beobachtet hat, finden auch dadurch ihre Erklärung, ebenso die starke schlierige Entwicklung, die besonders R. W. van der Veen (l. c.) studiert hat.

Die Frage, woher die Tektite stammen und wie sie zu ihrer merkwürdigen Form und Oberfläche kommen, gehört sicher zu jenen Problemen, die ohne Anwendung von Phantasie nicht gelöst werden können. Wir dürfen nicht glauben, daß die kurze Zeit

unserer wissenschaftlichen Erkenntnis ausreicht, um uns alles das erleben zu lassen, was möglich ist; gewisse Äußerungen von Naturkräften werden selten sein und wir haben wenig Aussicht, sie in einem nach wenigen Jahrhunderten oder Jahrtausenden historischen Geschehens zählenden Zeitraume zu erleben.

Wir fassen also zusammen: Das Material der Tektite ist außerirdischen (wahrscheinlich kosmischen) Ursprunges; es ist durch die Oxydation lockerer, teilweise nicht oxydierter Massen in der Erdatmosphäre entstanden, hat sich in der irdischen Atmosphäre Dispositionen zur Anlage der Skulptur auf einer durch den Chemismus des Materials bedingten Grundform erworben, und diese Skulptur ist durch terrestrische Korrosion entstanden.