

Überreicht vom Verfasser

Sonderdruck aus „Gerlands Beiträge zur Geophysik“, Bd. 54, Heft 1, 1938
Akademische Verlagsgesellschaft m. b. H. in Leipzig

Se 12905 A

Zur Entstehung der Tektite.

Von

K. Himpel, Wiesbaden.

Zusammenfassung: Trotz einer großen Zahl von Hypothesen ist die Entstehung der Tektite noch nicht erklärt. Von den drei charakteristischen Angaben des Beobachtungsmaterials, 1. das einmalige Auftreten in der Erdgeschichte; 2. die weltweite Verbreitung; 3. die chemische Einheitlichkeit, konnten die Meteoritenhypothesen zwar 2 und 3 befriedigend, aber nicht 1 erklären. Daher ist in der Arbeit der Versuch gemacht, gerade von diesem Punkt aus eine Brücke zur Paläoklimatologie und Astrophysik zu schlagen. Es zeigt sich, daß die Annahme einer engen Verknüpfung der Tektite mit dem die Eiszeiten verursachenden solaren Phänomen aussichtsreich ist. Die solare Eiszeithypothese von SIMPSON sowie die Nova-Eiszeithypothese des Verfassers werden bezüglich der Tektite diskutiert. Zum Schluß werden Hinweise für weitere Beobachtungen gegeben.

Summary: In spite of a great many theories the origin of tektites has until now not been satisfactorily explained. Of the three main facts of observational material, namely 1. the discrete appearance in geology; 2. the distribution over the whole earth; 3. the chemical uniformity, the meteoritic theories could sufficiently give account only for points 2 and 3, but not for 1. Going out from this point the attempt is made in the present paper to find some relation of the tektite problem to such of palaeoclimatology and astrophysics. The hypothesis, that the origin of tektites is nearly related to the solar phenomenon, that was also the cause for the ice age, leads to satisfactory results. The solar ice age theory of SIMPSON and the nova ice age theory of the author are discussed with regard to the tektite problem. Finally, some hints for observation are given.

Es gibt kaum ein zweites Phänomen naturwissenschaftlicher Forschung, dem seitens der verschiedensten Gebiete ein so reges Interesse entgegengebracht worden wäre, wie dem der Tektite¹⁾. Eine große Anzahl von Hypothesen über den mutmaßlichen Ursprung der Tektite ist aufgestellt worden, doch jede von ihnen konnte immer nur einem Teil

¹⁾ Zur allgemeinen Übersicht über das Problem sei z. B. auf R. SCHWINNER, Lehrb. d. physik. Geologie 1, 156—163, verwiesen; dort Literaturverzeichnis.

der Beobachtungsdaten gerecht werden, mit dem übrigen stand sie in mehr oder weniger offenem Widerspruch. Wir befinden uns daher bei diesem Problem in einer ähnlichen Situation, wie wir sie bei verschiedenen Gebieten, z. B. auch der Paläoklimatologie, antreffen, derart, daß eine Reihe von Hypothesen nebeneinander her bestehen, ohne daß eine von ihnen sich einen entscheidenden Vorsprung erkämpfen konnte. Versucht man, sich einen Überblick über diese Hypothesen zu verschaffen, so hat man offenbar zwei große Gruppen:

A. Terrestrische Hypothesen.

Die Tektite seien:

1. Kunstprodukte,
2. Auswürfe irdischer Vulkane,
3. Vom Blitz geschmolzener Sand oder Staub,
4. Verwitterungsprodukte, speziell in warmen Klimaten.

B. Kosmische Hypothesen.

Die Tektite seien:

1. Meteoriten einer im Weltenraum offenbar äußerst selten vorkommenden Art,
2. Auswürfe anderer Himmelskörper, z. B. von Mondvulkanen,
3. Geschmolzene Produkte der Oberfläche eines Riesenmeteoriten¹⁾,
4. Durch den Aufsturz großer Meteoriten geschmolzener und umhergespritzter Sand.

Zur Zeit gilt zwar Gruppe B als etwas aussichtsreicher, doch bestehen auch hier große Schwierigkeiten; und schließlich ist B 1 doch mehr eine Verschiebung als eine Lösung des Problems. Wenn man sich fragt, warum und an welcher Stelle alle Hypothesen gescheitert sind, so ist dafür lediglich der Umstand schuld, daß die charakteristischen Daten des Beobachtungsmaterials zumeist gar nicht recht erfaßt wurden. Welches sind nun diese Daten?

¹⁾ Ich möchte bei dieser Gelegenheit auf zwei bemerkenswerte Aufsätze hinweisen, die im diesjährigen Januarheft, S. 47—51, bzw. Aprilheft, S. 224 bis 230, der amerikanischen Zeitschrift *Popular Astronomy* erschienen sind. Der erste Aufsatz von J. CASPAR behandelt eingehend die Moldawite und versucht dann, Hypothese B 3 auf speziell deren Entstehung anzuwenden. Der zweite, von L. LA PAZ, behandelt das Gesamtproblem unter besonderer Berücksichtigung des DAVIDSchen größten Kreises und geht dann näher auf Hypothese B 4 ein.

1. Die Tektite sind, im Gegensatz zu den übrigen Meteoriten, durchweg fossil; der Fall oder die sonstige Entstehung eines Tektiten ist noch nie beobachtet worden. Die Zeit der Entstehung ist nicht genau festgestellt, die Angaben schwanken bei den verschiedenen Fundorten zwischen Ober-Miozän und Alt-Quartär. Wie ich aus der Literatur ersehe, besteht aber noch keine einheitliche Auffassung darüber, ob die Entstehung praktisch gleichzeitig oder zu verschiedenen Zeiten erfolgt ist, mit anderen Worten, ob die unterschiedlichen Altersangaben nur der zeitlichen Unsicherheit der geologischen Angaben zuzuschreiben oder ob sie reell sind.

2. Die Verbreitung der Tektite ist weltweit; ob der sog. DAVIDSche größte Kreis¹⁾ aber eine strenge Gesetzmäßigkeit oder nur eine statistische Häufigkeit darstellt, ist noch nicht entschieden, um so weniger, als einige neuere Fundorte ganz herausfallen (nach LA PAZ, S. 229).

3. Der Chemismus schließlich zeigt eine überraschende Einheitlichkeit, besonders augenfällig tritt dies bei den Bestimmungen des Gehaltes radioaktiver Elemente zutage²⁾.

Punkt 2 und 3 sprechen unbedingt zugunsten B und gegen A. Aber damit ist Punkt 1, d. h. das einmalige Auftreten in der Erdgeschichte, noch nicht voll erfaßt; auf die berechtigte Frage des Aktualisten, warum denn vor- und nachher Tektite nicht gefallen sind, ist noch keine Antwort gegeben.

Hier dürfte an Stelle weiterer Spekulationen vielleicht folgende Überlegung helfen: Die Tektite sind eine Ausnahmerecheinung in der Erdgeschichte, ihre Entstehungszeit³⁾ kennen wir ungefähr, ihre kos-

¹⁾ Gelegentlich findet man die Behauptung, dieser größte Kreis wäre der spättertiären Lage des Äquators nahegekommen bzw. dieser überhaupt gewesen. Das wäre speziell für Hypothese A 4 von größter Bedeutung, aber auch wichtig für B 1—4. Ganz abgesehen von dem überhaupt sehr problematischen Charakter dieser Verschiebungen könnte höchstens für Böhmen eine Breitenverminderung von im Miozän aber keinesfalls mehr als 20° in Frage kommen. (Nach KÖPPEN-WEGENER, „Die Klimate d. geol. Vorzeit“, S. 157, nur 12½° für Miozän.) Aber dafür hatte Australien im älteren Quartär — das altquartäre Alter der Australite gilt als sicher — ein viel kälteres Klima als heute; nach KÖPPEN-WEGENER lag z. B. Tasmanien damals auf 70° Südbreite! Die Behauptung also, Tektite seien nur in warmen Klimaten entstanden, ist falsch, was auch für Hypothese A 3 ungünstig ist.

²⁾ V. S. DUBEY, Nature 132 (1933) 678.

³⁾ Nämlich die auf der Erde; das wahre Alter ist unbekannt, da die Heliummethode bei den Tektiten nicht anwendbar ist (SCHWINNER, l. c. S. 161).

mische Entstehung ist wahrscheinlich. Gibt es nun in dieser Zeit noch andere Phänomene auf der Erde, die möglicherweise mit kosmischen Ereignissen in Verbindung standen und ließe sich da vielleicht eine Brücke schlagen?

Bekanntlich fällt die Entstehung der Tektite ungefähr mit dem Beginn der diluvialen Eiszeit zusammen. Auch zur Erklärung der Eiszeit sind ebenso wie bei den Tektiten zahlreiche Versuche gemacht worden, und auch hier scheiterten diese an ganz ähnlichen Schwierigkeiten wie bei den Tektiten, nämlich, daß das relativ seltene, diskrete Auftreten in der Erdgeschichte so recht nicht plausibel gemacht werden konnte. Wenn auch die Auffassung, daß die Eiszeit letzthin kosmisch bedingt sei, stets im Vordergrund stand, wurde doch ein entscheidender Fortschritt hier erst durch SIMPSON¹⁾ erzielt, da alle älteren Versuche sich wesentlich auf eine Verminderung der Sonnenstrahlung bzw. der solaren Aktivität konzentrierten, nach SIMPSON aber gerade eine Verstärkung der solaren Aktivität zur Eiszeit führen kann. Vom Standpunkte des Astrophysikers aber muß eine solche Variabilität so lange als ad hoc postuliert gelten, bis anderweitige theoretische oder empirische Evidenzen dafür vorgebracht werden, was nicht der Fall ist. Vor allem um diesem Übelstand abzuhelpfen, habe ich im Jahre 1937 den Versuch gemacht²⁾, von SIMPSONS Idée aus eine direkte Brücke zur Astrophysik zu schlagen, derart, daß das die Eiszeiten verursachende Phänomen nicht mehr aus den geologischen Befunden rekonstruiert, sondern direkt als ein näher zu bestimmendes astrophysikalisches Phänomen auf die Geologie angewandt wird. Es zeigte sich, daß das Novaphänomen den diesbezüglichen Bedingungen am besten genügt.

Es soll nun versucht werden, 1. die solare Eiszeithypothese von SIMPSON, 2. die Nova-Eiszeithypothese des Verfassers mit dem Problem der Tektite in Verbindung zu bringen. In beiden Fällen soll dabei der Versuch gemacht werden, die Tektite mit solaren Ereignissen in Verbindung zu bringen. Der Aktualist wird dabei zunächst fragen, ob heute der Sonne Materie entweichen kann. Die hierzu in Frage kommenden Protuberanzen³⁾ haben im Mittel Geschwindigkeiten von

¹⁾ C. G. SIMPSON, Quart. J. Roy. meteor. Soc. London **60** (1934) 425 bis 438; H. v. FICKER, Meteor. Z. **52** (1935) 165—168, 259; W. KÖPPEN, Gerl. Beitr. Geophys. **43** (1935) 379—387.

²⁾ K. HIMPEL, Die Klimate d. geol. Vorzeit. Astr. Nachr. **262** (1937) 393 bis 410; **264** (1937) 197—200; Meteor. Z. **55** (1938) 69—71.

³⁾ Vgl. dazu Handb. d. Astrophys. **4**, 137ff.

~ 200 km/sec, Maxima von ~ 400 km sind öfters beobachtet worden, und wenn man bedenkt, daß schon bei $V \gtrsim 600$ km Massenverlust eintritt, so kann an ein gelegentliches Entkommen von Materie wohl gedacht werden. Da aber die Massenverluste der Protuberanzen außerordentlich gering geschätzt werden und außerdem ein bevorzugtes Auftreten in einer bestimmten Ebene nicht vorliegt, ist es wenig wahrscheinlich, daß die Erde heute Zufluß solarer Materie erhalten könnte.

SIMPSONS Idee verlangt, kurz gesagt, spontan einsetzende solare Variabilität. Daß es sich dabei um periodisch-harmonischen Verlauf handelt, ist nur eine der Einfachheit halber gemachte Annahme, und wir werden sicher nicht fehlgehen, wenn wir uns auch hier möglichst eng an die Astrophysik anlehnen. Die einzige Bedingung ist dabei die, daß die untersuchte Variabilität auch bei Sternen, die der Sonne ähnlich sind, d. h. also auf dem Zwergast des Russell-Diagramms stehen, vorkommt. Deswegen muß jede periodische Variabilität, wie sie die Typen der Mira- oder Delta-Cepheisterne zeigen, a priori ausscheiden, da diese auf den Riesenast beschränkt sind. In Frage kommt lediglich eine Variabilität einer der Typen U Geminorum — SS Cygni — Z Camelopardalis¹⁾, da diese Sterne sicher Zwergcharakter besitzen²⁾. Gewöhnlich werden diese als seltene Typen beschrieben, doch, ganz abgesehen von der durch die geringe absolute Helligkeit stark verminderten Entdeckungswahrscheinlichkeit, ist diese relative Seltenheit nur dann reell, wenn es sich um Sterne handelt, die ihren ganzen Lebensweg mit dieser Variabilität behaftet sind. Das ist aber durch nichts bewiesen, ja wirft eher neue Fragen auf, und die Annahme, daß durch ein derartiges Variabilitätsstadium verhältnismäßig viele Sterne gelegentlich für kürzere oder längere Zeit einmal gehen, begegnet keinerlei Schwierigkeiten. Damit ist aber die Annahme einer solchen Variabilität auch für die Sonne nicht unberechtigt. Dabei ergibt sich aus dem Charakter der Variabilität, daß eine solche in jedem Falle eine äußerst intensive Verstärkung der atmosphärischen Zirkulation hervorrufen müßte; ein jedes solches Aufleuchten zu einem Maximum brächte einen starken sog. „Kälterückfall“ mit sich, und 10^3 — 10^4 Jahre würden vollauf genügen, um der Erde eine große Eiszeit zu bescheren. Allerdings kommt man bei jeglicher Variabilität um das nicht prüfbare Postulat primärer Schwankungen des Variabilitätsstadiums selbst, d. h. also zeitweiser Verstärkung und

¹⁾ Vgl. dazu Handb. d. Astrophys. 6 (2), 83 ff.; 7, 623 ff.

²⁾ B. P. GERASIMOVIČ, Astr. Nachr. 251 (1934) 255.

Verminderung, nicht herum. Wie nun die Untersuchungen des Farbenindex¹⁾ zeigten, kann es sich bei diesem Phänomen nur um eine Expansion handeln, wie sie ähnlich im großen bei allen Novae beobachtet wird. Daß solche Aufleuchten auch Massenverluste, sei es durch heftige Protuberanzen, sei es durch den Vorgang der Expansion selbst, mit sich brächten, ist plausibel. Derartige ausgeschleuderte Massen mußten sehr rasch kondensieren und hätten so die Tektite bilden können. Bei der großen Zahl der Aufleuchten (jährlich mindestens 3) hätte auch bei beliebiger räumlicher Orientierung der Ausschleuderungen ein Teil in die Erdatmosphäre eindringen können.

Während jedoch bei dieser Hypothese eine Reihe zwar an und für sich möglicher, aber doch näher zu begründender Annahmen erforderlich wäre, fallen diese fort, wenn an Stelle einer Variabilität das Novaphänomen gesetzt wird. Hier erfolgt bekanntlich ein merklicher Massenverlust, dessen genaue Größe zwar nur vermutungsweise bekannt ist, der aber sicher $< 1\%$ der Sternmasse ist; wir wollen mit dem wahrscheinlichsten Wert 1‰ rechnen. Die Geschwindigkeit des Nebels beträgt im Mittel ~ 1000 km/sec (bis zu 4000 km wurden betrachtet). Damit bestehen bezüglich der Tektite drei Möglichkeiten:

1. Die Tektite sind Kondensationspunkte im Nebel selbst. Diese Möglichkeit hat angesichts der Eigenschaften des Nebels so gut wie keine Wahrscheinlichkeit für sich.

2. Die Tektite entstanden beim Eindringen des Nebels in die Erdatmosphäre.

Mit dem Massenverlust 1‰ M_{\odot} findet man durch elementare Rechnung, daß $\sim 10\%$ der Masse der Erdatmosphäre mit deren äußeren Schichten zusammentreffen. Der Nebel selbst ist ein Gemisch der Elemente der äußeren Schichten der Sonne. Er besteht zum weitaus größten Teil aus Wasserstoff²⁾, es folgt He (alles nach SCHWINNER, l. c., S. 134), Si, Ca, Na, Mg, Al, Fe, C, Zn, Ti, Mn, Cr, K, V, Sc, Ba; bei Tektiten O, Si, Al, Fe, K, Ca, Mg, Ti, Mn. Daß Tektite also beim Eindringen des

¹⁾ GERASIMOVIC̆ u. PAYNE, Harvard Bull. No. 889 (1932).

²⁾ Dieser wird sich, in die Erdatmosphäre hineingetrieben, infolge der hohen Temperatur sofort mit dem atmosphärischen Sauerstoff zu Wasserdampf verbinden, dessen Kondensation zu Wolken durch die restlichen Elemente des Nebels beschleunigt wird. Worauf ich wiederholt hinwies, ist dieser Wasserdampf der Hauptschutzfaktor für die Lebewelt gewesen, die sonst auch bei starker Wolkenbildung ganz oder zum Teil hätte vernichtet werden müssen.

Nebels in die Atmosphäre durch Kondensation und Oxydation entstanden seien, wäre zufolge dieser Häufigkeitsfolge der Elemente nicht ausgeschlossen; und auch der Gehalt an sonstigen Elementen (seltene Erden oder radioaktive Elemente) würde gewiß daran nicht scheitern, daß diese in der Sonnenmaterie nicht vorhanden wären. Dagegen kann ich nicht entscheiden, ob vom Standpunkt der physikalischen Chemie solche Kondensationen, wie die Tektite es sind, bei dem betrachteten Vorgang möglich sind.

3. Die Tektite sind von der Nova-Sonne in die Erdatmosphäre hineingetriebene interplanetarische Materie.

Diese Möglichkeit scheint stärker überzeugend, als die bereits betrachteten. Steigt die absolute Helligkeit der Sonne von $+5^m$ auf -5^m , wird auch der Strahlungsdruck 10^4 mal stärker. Er schwächt die Gravitation jetzt ab im Verhältnis $1 - 1/10^4 \cdot 1/r \delta^2$, dann aber $1 - 1/r \delta$ (r Radius in cm und δ Dichte), so daß ($\delta \sim 3$) schon für Körper $\lesssim 1$ cm die Gravitation aufgehoben wird. Wesentlich stärkere Wirkung übt der materielle Gasdruck aus, dessen effektive Wirkung proportional R abnimmt²⁾. Nehmen wir also an, die Tektite seien ein kleiner Teil jener Materie gewesen, die vor dem Novaausbruch innerhalb der Erdbahn umlief. Durch den Ausbruch wurde für Körper bis zu der Größenordnung einiger Zentimeter durch Wirkung von Gasdruck und Strahlungsdruck die Gravitation aufgehoben bzw. abgeschwächt, diese Körper also entweder überhaupt aus dem Planetensystem vertrieben oder doch in stark erweiterte Bahnen geworfen³⁾. Erreichten sie die Erdbahn, so traf ein Teil mit der Erde zusammen. Die Frage, warum die Materie dort umlief, wäre unangebracht, ließe sich jedenfalls nur mit der Kosmogonie des Planetensystems in Zusammenhang bringen und wird durch diese sehr stark gestützt⁴⁾.

¹⁾ P. LEBEDEV, in Vjschr. Astr. Ges. **37** (1902) 224.

²⁾ Weil die Dichte proportional R^3 , die Gravitation proportional R^2 abnimmt.

³⁾ In der Nähe der Sonne wurde selbstverständlich alles verdampft.

⁴⁾ Die meisten und gerade die aussichtsreichsten Hypothesen über die Entstehung des Planetensystems führen zu früher stärker mit Masse erfüllten interplanetarischen Räumen. Dieser Fragenkomplex ist eingehend behandelt in meiner Arbeit „Paläoklimatologie und Kosmogonie“, die demnächst in den Astr. Nachr. erscheinen wird. Den Gedanken, daß Tektite und Meteoriten überhaupt mit der Kosmogonie des Planetensystems zusammenhängen könnten, fand ich auch bei F. E. SUESS, Naturwiss. **21** (1933) 861.

Von den auf S. 3 besprochenen drei Hauptpunkten des Beobachtungsmaterials kann die Hypothese auch den schwierigsten, Punkt 1, erklären, und zwar dadurch, daß das Problem der Tektite in eine Reihe anderer Probleme eingeschaltet wird.

Da es kaum bezweifelbar ist, daß die drei bzw. vier großen Eiszeitperioden der Erdgeschichte dieselbe Ursache hatten, wäre im Falle der Richtigkeit der vorgetragenen Gedankengänge zu erwarten, daß Tektite auch in älteren Schichten, und hier insbesondere im Oberkarbon, gefunden würden. Da die Geologie verschiedentlich die feinsten organischen Spuren überliefert, wäre auch gut denkbar, daß einzelne paläozoische Tektite vor Verwitterung geschützt und uns erhalten blieben.