



*Joseph Geyer*

24.500<sup>80</sup>

Beiträge zur Geophysik. Bd XVI, Heft 1/2, 1927.  
Verlagsgesellschaft m. b. H., Leipzig.

24500

82



## Meteoriten und Geologie.

Von

Robert Schwinner, Graz.

**Zusammenfassung:** Vom Standpunkte der chemischen Petrographie sind die Meteoriten vom Nickeleisen bis zu den Anorthit führenden Steinen Differentiationsprodukte aus einem einzigen Urmagma, d. h. Bruchstücke eines Himmelskörpers, der, zum großen Teil wenigstens, bis zum feuerflüssigen Zustand abgekühlt gewesen ist. Wegen der hyperbolischen Durchschnittsgeschwindigkeit können die Meteoriten nicht aus unserem Sonnensystem stammen, sie bilden eine kosmische Staubwolke, in welche unser Sonnensystem erst im Jungquartär eingetreten ist (Fehlen fossiler Meteoriten!). Diese Staubwolke ist so dünn, daß ihre Einwirkung auf Bewegungen und Wärmezustände usw. im Sonnensystem weit unter der Grenze des Meßbaren bleibt. Nach plausiblen Annahmen bliebe ihre Ausdehnung unter 1 Lichtjahr oder nicht viel darüber, ihre Masse wäre einiges geringer als die der Sonne, immerhin noch die eines kleinen Fixsternes. Entstehung durch Zusammenstoß zweier Himmelskörper, der die Trümmer als Staub in etwa  $10^7$  Jahren bis zur heutigen Verdünnung auseinandertrieb, worauf das dem exzentrischen Stoß entstammende Rotationsmoment die Wolke die seit jener Katastrophe abgelaufene Zeit von etwa  $10^{10}$  bis  $10^{11}$  Jahre stationär hielt. (Diese Zeitschätzung gründet sich darauf, daß der Ra-Gehalt der Meteoriten gering ist, also wohl seit jener Katastrophe ein Vielfaches der Halbwertszeit des U abgelaufen sein muß. Die Forderung stationären (dauernden) Zustandes wird außerdem durch den Wahrscheinlichkeitskalkül unterstützt.) Für Entstehung durch eine Katastrophe spricht auch die Struktur der Meteoriten, welche z. T. Explosivtuffe imitirt (Chondriten), z. T. für schnelle Erstarrung, in schwachem Schwerefeld zeugt (Nickeleisen, Pallasite). Die Gesamtheit der Meteoriten zeigt wohl eine Art Querschnitt durch einen Himmelskörper, mit der Annahme aber, daß dies auch genau ein Querschnitt durch unsere Erde ist, wird man zurückhalten müssen.

Die Frage nach der Herkunft der „Tektite“ ist bei jedem passenden Punkte diskutiert worden; vorläufig möchte ich weder für, noch gegen ihre Zuteilung zu den Meteoriten entscheiden.

Wenn die Meteoriten von seiten der Geologen, Petrographen und Geophysiker oft und mit großem Interesse besprochen werden, so liegt der Grund nicht an dem zweifellosen, aber geringen Beitrag, den sie zum Aufbau des Erdballes liefern, sondern an einigen Analogieschlüssen, welche man von den Erfahrungen an Meteoriten auf die uns unbekann-



ten und unzugänglichen Teile des Erdinnern glaubt ziehen zu können. Man nimmt nämlich vielfach an, daß die Meteoriten Bruchstücke eines Himmelskörpers vorstellen, und zwar, wie viele glauben, eines Planeten, etwa jenes, den man sich in die große Lücke zwischen Mars und Jupiter eingeschaltet denkt, der dann zersprungen wäre und von dem nur mehr wenige Trümmer als Asteroiden den alten Platz innehaben. Die Mannigfaltigkeit ihrer Gesteinstypen wäre also eine Musterkarte dessen, was man in den Tiefen der Erde vermutet<sup>1)</sup>.

Wir wollen nun die angedeutete Hypothese in ihren einzelnen Teilen der Reihe nach überprüfen:

I. Die Vermutung eines planetarischen Ursprunges der Meteoriten muß sofort aufgegeben werden. Soweit gute und zureichende Beobachtungen vorliegen, sowohl von Meteoritenfällen (Pultusk berechnet von Galle) als auch von großen zum Teil detonierenden Feuerkugeln, ergab die Rechnung eine heliozentrische Geschwindigkeit, die weit über der parabolischen liegt, und zwar gibt Niessl<sup>2)</sup> als Mittel der 26 sichersten Bahnbestimmungen 59.05 km/sec und als Mittel von 154 großen Meteoren alten Materiales 59.8 km/sec. Auch für die Hauptmasse der Sternschnuppen, wenn man die wenigen großen, kometaryischen Sternschnuppenschwärme ausscheidet, ergibt sich eine mittlere heliozentrische Geschwindigkeit, die weit über der parabolischen liegt und nahezu jener entspricht, die aus direkten Beobachtungen für die großen Meteore abgeleitet worden ist<sup>3)</sup>.

<sup>1)</sup> Suess, Ed., Antlitz der Erde III/2 S. 627; Über Einzelheiten in der Beschaffenheit einiger Himmelskörper, Sitz.-Ber. Akad. Wien, math.-nat. Kl. 1907, Bd. 116, Abt. I, S. 1561. — Daubrée, A., Experimentalgeologie, Braunschweig 1880, S. 561—576. — Tammann, G., Bemerkungen zur Geochemie. Zeitschr. f. Geoph. 1924/25, I, S. 23f. — Salomon, W., Grundzüge der Geologie. Bd. I, S. 50. — Goldschmidt, V., Über Himmelsgläser oder Glasmeteoriten. Zeitschr. f. Kristallogr. 1921, Bd. 56, S. 420—421 (woselbst auch weitere Verweisungen). — Goldschmidt, V. M., Über die Massenverteilung im Erdinnern, verglichen mit der Struktur gewisser Meteoriten. „Die Naturwissenschaften“, 1922, Jg. 10, Heft 42, S. 918—920. — U. a. auch Link und W. Thomson waren für die Bruchstücktheorie. (Vollständigkeit des Verzeichnisses ist nicht beabsichtigt.)

<sup>2)</sup> Die Bestimmung der Meteorbahnen im Sonnensystem. Enzyl. der math. Wiss. VI/2/10 S. 460. Vgl. auch † G. v. Niessl, Katalog der Bestimmungsgrößen für 611 Bahnen großer Meteore. Herausgegeben von C. Hoffmeister. Denkschr. Akad. d. Wiss. Wien, math.-nat. Kl. 1925 Bd. 100.

<sup>3)</sup> Hoffmeister, Cuno, Beziehungen zwischen Kometen und Sternschnuppen. Enzyl. der math. Wiss. VI/2/18a S. 952.

Auch wenn man die Genauigkeit der Beobachtung und Berechnung eines einzelnen Falles nicht sehr hoch einschätzen will, so ist es doch ausgeschlossen, daß der Mittelwert aus so vielen und verschiedenartigen Bestimmungen um gut 50% falsch ausfallen könnte. Für einen großen Teil der fraglichen Himmelskörper muß es also als bewiesen gelten, daß sie für unser Sonnensystem nur als Gäste in Betracht kommen, von unbekanntem Fernen erscheinen und, sofern sie nirgends angestoßen, auch aus demselben auf Nimmerwiedersehen verschwinden. Da es nun, wie wir später besprechen werden, nicht sehr wahrscheinlich ist, daß diese Gruppe von Himmelskörpern, die sonst so einheitlich aussieht, in zwei Teile ganz verschiedenen Ursprunges zerfällt, so wird man vielleicht annehmen müssen, daß jene, die heute dem Sonnensystem mit elliptischen Bahnen angehören, durch Störungen von größeren Planeten „eingefangen“ worden sind. Dafür spricht auch, daß von Sternschnuppen u. dgl. immer noch eine Menge beobachtet wird, obwohl offenbar durch Zusammenstöße mit Planeten fortwährend eine große Zahl verschwindet. Ohne Zuzug von außen hätte ein dem Sonnensystem von Anbeginn angehörender Schwarm wohl bis zur Unmerklichkeit dezimiert werden müssen.

II. Müssen wir also aus astronomischen Gründen die Herkunft der Meteoriten aus einem zersprungenen Planeten oder einer ähnlichen Einheit unseres Sonnensystems ablehnen, so bezeugen ihre petrographischen Verhältnisse zwingend, daß sie doch einmal ein Ganzes, einen zusammenhängenden Himmelskörper gebildet haben. Wir stützen dies nicht etwa darauf, daß in den Meteoriten bisher immer dieselben Elemente sich gefunden haben (und zwar keinen anderen als auf der Erde bekannt). Nach den Anschauungen der neuen Atomtheorie scheint dies ziemlich selbstverständlich und nicht so wunderbar wie einst, als man es zuerst feststellte. Auch daß die Atomgewichte (soweit geprüft)<sup>1)</sup> die gleichen waren wie auf der Erde, braucht für den Ursprung nichts auszusagen. Es ist bereits vermutet worden, daß die Häufigkeit des Vorkommens der einzelnen Isotopen in der Mischung auf die

<sup>1)</sup> Fe: Baxter & Thorvaldsen, Landolt-Börnstein, Tabellen, 4. Aufl. 1912.

Ni: Baxter & Hilton, Journ. Amer. Chem. Soc. 1923, 45, S. 694. (Zitiert nach Neues Jahrb. f. Mineralogie etc. 1924, II, S. 148.)

Si: Jäger & Dykstra, Zeitschr. f. anorg. u. allg. Chemie 1925, 143, 233.

Cl: Harkins & Stone, Nature 1925 Nr. 2916 Bd. 116 S. 426. (Vgl. dazu den Einwand von Menzies, ibid. S. 643.)

verhältnismäßig größere oder kleinere Stabilität<sup>1)</sup> der betreffenden Atomgebäude zurückgehe und dann würde ihr Mischungsverhältnis überall das gleiche sein, wo Zeit und Material genügt, um jenen wahrscheinlichsten Zustand zu erreichen. Das Hauptgewicht ist darauf zu legen, daß die Meteoriten in ihrem Gesamtstoffbestande und seiner Verteilung auf die einzelnen Vorkommen genau das vorstellen, was die irdische Petrographie eine Gesteinssippe nennt. Die chemische Bausch-analyse gibt für die einzelnen Meteoriten sehr verschiedene Prozentzahlen von reinem Nickeleisen bis zu von gediegenem Eisen freien Silikatgemengen. Aber so verwirrend diese Fülle scheinen mag, alle bilden ein Kontinuum (vielleicht gar bloß eine lineare Folge), aus dem nicht der Zufall die Variation der Konzentration der einzelnen Bestandteile bestimmt, sondern die Naturgesetze der Phasenregel und Massenwirkung, wie sie in kleinen technischen Verhältnissen, etwa bei metallurgischen Prozessen bereits eine Schmelze in 2—3 Teile sich saigern lassen und wie sie unter den Verhältnissen eines Himmelskörpers, in dem Gas, feurigflüssige und feste Phasen unter stark variierender p-T-Verteilung aufeinanderwirken, eine noch größere Mannigfaltigkeit der Produkte hervorzubringen imstande sein wird. Insbesondere die Teilnahme feurigflüssiger Phasen ist dadurch gesichert, daß in einer rein gasförmigen Masse die Mischung vollkommen ist, aber eine weitere Entmischung nicht möglich, als die nach dem Molekulargewicht (Daltonsches Gesetz). In der festen Phase ist eine einheitliche Mischung auch in Zeiten von kosmischer Dauer kaum denkbar. Nur eine flüssige Phase kann beides Mischung und Entmischung gleichzeitig derart in die Wege leiten. Wenn gefühlsmäßige Schätzung hier einigen Wert beanspruchen kann, so scheinen die Meteoriten, so verschiedenartig auf den ersten Blick, im ganzen nur einer der großen Gesteinssippen gleichwertig zu sein, die wir auf der Erde unterscheiden (der pazifischen oder der atlantischen), also nur einem Teil jener Mannigfaltigkeit von Gesteinen, wie sie uns schon aus der Erdkruste bekannt sind. Darum wäre es möglich, daß die uns bekannt werdenden Meteoriten nur einen bestimmten Teil ihres Stammeshimmelskörpers vorstellen, vielleicht den bereits erstarrt gewesenen Teil, während die Gase und vielleicht ein Teil der flüssigen Phasen bei der Katastrophe seiner Zertrümmerung im Weltraum ganz fein verstäubt worden wären.

<sup>1)</sup> Etwa wie W. D. Harkins vermutet, zitiert nach H. Michel, Fortschritte der Mineralogie, Kristallographie und Petrographie VII, Jena 1922, S. 298.

Die meteoritische Gesteinssippe unterscheidet sich von der irdischen in erster Linie durch ihre weit größere Basizität. Man hat nun vermutet, daß die natürliche Fortsetzung in saure Differentiationsprodukte in den Tektiten<sup>1)</sup> zu sehen wäre, jenen merkwürdigen Glaskörpern, die man in älteren Schottern und Eluvialbildungen von Böhmen, Australien usw. findet. Da jedoch die meteorische Herkunft dieser Gebilde noch kontrovers ist und ein unmittelbarer Zusammenhang mit den bekannten Meteoriten als Differentiationsprodukte aus einem und demselben Stammagma, wenn vielleicht auch nicht unmöglich, doch nicht sehr wahrscheinlich ist, so wollen wir von ihnen vorläufig absehen. Man hat auch schon die Meinung ausgesprochen, daß die Sternschnuppen aus jenem uns unbekanntem sauren Ende der meteorischen Gesteinssippe bestünden, die eben deswegen nie auf die Erde kämen, weil sie (bei dem geringen O-Gehalt des meteorischen Magmas) gediegene Leichtmetalle enthalten müßten und daher bei Berührung mit Luft-sauerstoff sofort verbrennen<sup>2)</sup>. Abgesehen davon, daß Flitter von gediegenem Leichtmetall in Silikatglas eingeschlossen, doch ebensogut bis auf die Erde kommen könnten, wie manche andere recht wenig stabile Verbindungen, die in Meteoriten wirklich gefunden werden, so sind die Reste, die man in Sedimenten als von Sternschnuppen stammend ansehen könnte, keineswegs dieser Art, sondern ganz im chemischen Variationsbereich der bekannten großen Meteoriten. Man findet z. B.<sup>3)</sup> im „roten Ton“ der Tiefsee auf 1 l Schlamm 20—30 Kügelchen von 0.2 mm Durchmesser Nickeleisen und 5—6 Chondren von 0.5 mm Durchmesser aus Mg-, Fe-haltigem Silikat<sup>4)</sup>. Von anderen Meeressedimenten enthält bloß der Globigerinenschlamm manchmal 1—2 derartige Kügelchen auf 1 l. Doch erklärt sich das einfach aus der Bildungsweise der Sedimente: Der rote Ton bildet sich entweder unendlich langsam oder er ist vielleicht gar ein Subtraktionssediment, eine durch Auslaugung in situ entstandene Eluvialbildung; jedenfalls dredscht man in ganz oberflächlichen Schichten derselben Zähne von Haifischarten, die seit dem Pliozän (d. i. mindestens 1 Million Jahre) ausgestorben sind. Daher kann sich hier der Meteorstaub derart an-

<sup>1)</sup> Suess, F. Ed., Rückschau und Neuere über die Tektitenfrage. Mitt. der geolog. Ges. in Wien 1914, VII, S. 51—124, besonders S. 84ff.

<sup>2)</sup> Vgl. Zusammenstellung bei Michel, Fortschritte usw. S. 267, 316.

<sup>3)</sup> Andrée, K., Geologie des Meeresbodens II, Berlin 1920, S. 329ff.

<sup>4)</sup> Rechnet man die Dichten: Ton = 2.0, Holosiderit = 7.0, Chondren = 3.2, so folgt ein Durchschnittsgehalt an meteoritischem Stoff von 0.94 oder rund 1 mg per 1 kg Schlamm oder ein Millionstel an Gewicht.

reichern, in anderen Sedimenten verschwinden diese ungeheuer seltenen Kügelchen in der Masse der anderen Komponenten, und da außerdem Sedimentpetrographie nicht allzu lebhaft betrieben wird, hat man eben bis heute noch nie ein solches gefunden. Dagegen glaubt man im Kryokonit, dem Staubbiederschlag auf dem grönländischen Inlandeis meteorische Beimengung gefunden zu haben. In 16 g des von Nordenskjöld gesammelten Kryokonites stellte Wülfing<sup>1)</sup> 6 Chondren von 0.09—0.17 mm Durchmesser fest und Mercanton<sup>2)</sup> fand in 25.8 g Kryokonit 15 Kügelchen von 0.05—0.23 (durchschnittlich 0.11) mm Durchmesser, die magnetisierbar und ihrer Form nach ähnlich den Kügelchen aus dem roten Ton waren, also aller Wahrscheinlichkeit nach Meteoreisen. Nach diesem ist der Kryokonit nicht ein gleichmäßig verbreitetes äolisches Sediment. Er findet sich hauptsächlich in Löchern, die im aperten Eisrande in großer Zahl ausgeschmolzen sind und in denen zusammengeschwemmt ist, was ursprünglich auf einer viel größeren Eisfläche angeweht worden war. Damit fällt natürlich die von Nordenskjöld aufgestellte Berechnung. Der von Mercanton ermittelte Gehalt des Kryokonits an meteorischem Staub wäre 4 Millionstel des Gesamtgewichtes (0.1 mg auf 25.8 g Kryokonit). Im folgenden wird die Gesamtmasse allen meteorischen Materials, das im Laufe eines Jahres auf die Erde kommt, mit 6000 t angenommen werden, d. i. 0.012 mg auf den Quadratmeter im Jahr, und zwar meistens Staub, die wenigen großen Meteoriten, die den Erdboden erreichen, kommen dagegen kaum in Betracht. Diese Annahme zielt einerseits auf eine Art geometrisches Mittel zwischen den einigermaßen begründeten Schätzungen (vgl. S. 205, 208), andererseits soll die Verbindung mit den vorerwähnten Daten der Sedimentpetrographie nicht zu ganz undenkbaren Ziffern führen. Wir haben oben berechnet, daß 1 kg roter Tiefseeton 1 mg Meteoritenstaub enthalte; dann würde der jährliche Zuwachs dieses Sedimentes 0.005 mm betragen, und da der Gehalt

<sup>1)</sup> Wülfing, E. A., Beiträge zur Kenntnis des Kryokonites. Neues Jahrb. f. Min. usw., 1890 Beil. Bd. VII S. 152ff. Rechnen wir wieder wie oben um, so erhalten wir den meteoritischen Bestandteil wieder mit 1 Millionstel des Gewichtes. Nach Nordenskjöld wird im Jahr angeweht eine 0.1 mm dicke Schicht Kryokonit (Dichte 2.77), das gäbe einen Zuwachs durch Sternschnuppenfall von  $\frac{1}{4}$  mg pro m<sup>2</sup> und Jahr oder 128 000 t im Jahr für die ganze Erde. Das wäre wohl zuviel (vgl. unten).

<sup>2)</sup> Quervain, Alfred de, und Mercanton, P. L., Ergebnisse der Schweizerischen Grönlandexpedition 1912—1913. Denkschr. d. Schweiz. naturf. Gesellsch. 1920 Bd. 53 S. 281: La „Cryoconite“ von Mercanton.

des Globigerinenschlammes mindestens 20mal kleiner ist, würde dieser 0.1 mm pro Jahr zunehmen. Solche Absatzgeschwindigkeit scheint der Größenordnung nach durchaus plausibel: Im Südtessin ist 35—40 m roter Radiolarit des Ober-Jura und 100 m (oder mehr) Majolika der unteren Kreide vertreten (Heim, Alb., Geologie der Schweiz, II/2 S. 838). Ihr Absatz hätte also 7—8 bzw. 1 Million Jahre erfordert, was immerhin möglich scheint.

Damit scheint für einen Teil der Sternschnuppen wenigstens die Zugehörigkeit zu den häufigsten Meteoritentypen, Chondrit und Holosiderit, festgestellt. Hervorzuheben ist noch, daß diese Kügelchen im roten Ton, in dem doch Fossilien, Vulkangesteine usw. fast völlig zerstört worden sind, gut erhalten geblieben sind, daß man also das Fehlen von Meteoriten aus Nickeleisen oder Silikat in einem ähnlichen Sediment nicht auf nachträgliche Zerstörung durch Oxydation schieben darf<sup>1)</sup>, sondern dann annehmen muß, daß sie von Anfang ebensoviel oder so wenig darin waren, wie man heute finden kann.

III. Ob man in der stofflichen Mannigfaltigkeit der Meteoriten ein Bild unseres Erdinnern sehen soll? Mit anderen Worten, ob man dieselben als Differentiationsprodukt eines gleichen Magmas ansehen darf wie das, dem unsere irdischen Gesteine entstammen, nur daß sie den basischen Pol dieses Kontinuums darstellen würden, der, weil schwerer, in den Tiefen der Erde zurückgeblieben, während die saueren Abscheidungen als Schlacke auf dem feurigen Glutball oben drauf schwammen. Es muß zugegeben werden, daß jede Differentiationsreihe, wenn sie ins ultrabasische fortgesetzt werden kann, schließlich auf gediegenes Schwermetall führen muß, und daß dies nach der Häufigkeit des Vorkommens im sauren Teil der irdischen Gesteine auf der Erde nur Eisen sein kann. Aber Fe ist auch sonst kosmisch ungemein stark verbreitet, Himmelskörper mit Eisenkern werden daher kaum selten sein<sup>2)</sup>, ein besonderes Kennzeichen ist das nicht. Umgekehrt

<sup>1)</sup> Daubree, A., Experimentalgeologie S. 379ff.

<sup>2)</sup> Nach den gebräuchlichen Annahmen bilden Silikate (hauptsächlich basische) nur den äußeren Mantel der Erde (bis 1200 km Tiefe), das wäre nicht ganz die Hälfte ihres Volumens (1/2,1). Unter den Meteoriten überwiegen heute die Steine weitaus an Häufigkeit; demnach könnte der Eisenkern jenes Himmelskörpers nur verhältnismäßig viel kleiner gewesen sein. Man darf allerdings nicht übersehen, daß unter den gefundenen älteren Meteoriten wieder die Eisen überwiegen und daß — wenn schon dies einigermaßen in den Umständen der Auffindung sich begründet — doch auch der Gedanke nicht von der Hand zu weisen ist, daß dies Verhältnis früher anders und ähnlicher der für die Erde vermuteten Zusammensetzung gewesen ist.

gerechnet kann man nicht sagen, daß die Endglieder, mit denen beide Reihen aneinander schließen müßten, die sauersten Steinmeteoriten und die basischsten irdischen Gesteine, gut aneinander passen, im Gegenteil, gerade in diesen kommen die Gegegenseätze zum Ausdruck, insbesondere, daß das meteorische Magma viel weniger oxydiert ist, so daß nach Ansicht mehrerer namhafter Petrographen in der Fortsetzung seiner Differentiationsreihe die schon erwähnten Gesteine mit gediegenem Leichtmetall lägen, nicht die uns vertrauten Silikatschmelzen. Daß die Tektite hier vermitteln würden, kann ich nicht finden; mit irdischen Gesteinen wären sie allerdings recht gut<sup>1)</sup> vergleichbar, aber zwischen den Tektiten und dem sauersten, beglaubigten Meteorstein ist chemisch ein derartiger Abstand, daß ein Urteil, ob beide aus demselben Urmagma kommen können, keinerlei sichere Grundlage hätte. Gar zu verlockend sieht es nicht aus<sup>2)</sup>.

Wohlverstanden, alle diese chemischen Schlußfolgerungen beziehen sich auf den Gesamtstoffbestand, wie er etwa in der Bauschanalyse zum Ausdruck kommt; Mineralbestand und Struktur dürften mit dem ursprünglichen Zustand kaum viel zu tun haben, eher mit dem Vorgang bei der Zerstörung des betreffenden Himmelskörpers. Die Chondriten hat man schon oft mit Tuffen und Agglomeraten aus zerstäubten und zerspratzten Magmatröpfchen verglichen. Auch für die Nickeleisen ist nunmehr eine schnelle Erstarrung aus schmelzflüssigem Zustand sichergestellt, „bei der das Temperaturgebiet von 1600—1900° innerhalb von Stunden, höchstens Tagen durchlaufen wird“<sup>3)</sup>. Für schnelle Abkühlung spricht auch das Vorkommen von Silikatglas (Maskelynit). Natürlich würde dies besonders bei den Tektiten zutreffen, wenn dies wirklich Meteoriten sind<sup>4)</sup>. Die unvoll-

<sup>1)</sup> Vielleicht zu gut. Herabsetzung des Alkali gehaltes mit K-Vor-macht erinnert bedenklich daran, daß bei mobilisierenden Vorgängen die Alkalien stets zuerst daran glauben müssen, daß dann aber K durch Ad-sorption doch relativ angereichert zu werden pflegt. Zieht man Derartiges in Rechnung, so liegt der Chemismus der Tektite ganz im irdischen Er-fahrungsbereich.

<sup>2)</sup> Ein weiteres Charakteristikum des meteorischen Magmas ist z. B. hoher P- und S-Gehalt, beides Elemente, die stark mit der sauren Fraktion mitgehen (besonders P), in den Tektiten sind sie (vgl. Analysen bei Suess, l. c. S. 86) anscheinend schwach vertreten.

<sup>3)</sup> Vogel, H., Über Struktur des meteorischen Nickeleisens und ihre Bedeutung für die Bildung der Meteoriten. Zeitschr. f. Geoph. I, S. 273—281.

<sup>4)</sup> Die manchmal geäußerte Annahme, daß diese erst beim Flug durch die Erdatmosphäre aufgeschmolzen wären, ist nicht haltbar. Nicht, daß die

kommene Trennung nach dem spezifischen Gewicht (Pallasite mit Silikattropfen im Eisen) sowie die glänzende Ausbildung der Kristalle, besonders in dem Kamazitskelett, spricht für Bildung in einem sehr schwachen Schwerefeld. All das würde darauf passen, daß die Meteoriten Trümmer eines Himmelskörpers sind, bei dessen katastrophaler Zer-sprengung die bereits erstarrten Massen wieder aufgeschmolzen oder gar verdampft (daher vielleicht starke Verarmung an Gasbestand-teilen?), aber nicht wieder gemischt worden sind. Gewisse Analogie muß der Aufbau dieses Himmelskörpers mit dem des Erdinnern gehabt haben. Es fragt sich nur, ob diese Ähnlichkeit nicht auch bei sehr vielen Himmelskörpern überhaupt zutreffen muß. Nehmen wir an, daß der Ausgangspunkt solcher kosmischer Körper eine Kugel überhitzten dissoziierten Gases ist, so müssen schon nach dem Gesetze von Dalton die Elemente mit hohem Atomgewicht mehr gegen den Mittelpunkt konzentriert werden. Der Übergang ins Tropfbar-Flüssige setzt die Sonderung nach dem spezifischen Gewicht fort. (Mit gewissen chemisch zu begründenden Ausnahmen natürlich.)<sup>1)</sup> Es dürfte daher jeder Himmelskörper im Zustande der Erkaltung aus Metallkern, Silikat-mantel, Gashülle bestehen<sup>2)</sup>.

Wenn die Meteoriten Glieder unseres Sonnensystems wären, müßte man erwarten, daß ihr Fall die ganze geologische Zeit fortgegangen wäre, und zwar in Stoff und Form gleich, an Zahl und Masse hätten

lebendige Kraft eines mit ca. 60 km/sec in die Erdatmosphäre einfliegenden Körpers zu gering wäre; die gibt für jedes Gramm der bewegten Masse rund 420000 cal. Aber es langt die Flugzeit nicht zur Leitung dieser Wärme-menge ins Innere. Beweis dafür, daß die Struktur sowohl der Steine als der Eisenmeteoriten außer der dünnen oberflächlichen Brandzone gar keine Änderung aufzuweisen pflegt.

<sup>1)</sup> Vgl. G. Tammann, Zeitschr. f. Geoph. 1924, I, S. 23 und B. Gutenberg, Der Aufbau der Erde S. 124ff. Berlin 1925.

<sup>2)</sup> Diese Ähnlichkeit in groben Zügen darf nicht als Widerspruch zu den oben (S. 198) ausgesprochenen Ansichten einer scharfen Individualisierung der Gesteinssippen mißverstanden werden. Wenn auch die Sterne vielleicht sehr ähnlich zusammengesetzt sind, ganz gleich kann das Mischungsverhältnis nicht überall sein (vgl. C. Payne, „... On relative stellar abundance of the Elements“; Proc. Nat. Acad. Washington 1925 Vol. 11 No. 3 p. 192) und kleine Änderungen in den Proportionen genügen, um ein mineralogisch-petrographisch sehr verschiedenes Produkt zu erzeugen. Trümmer aus verschiedenen Ecken des Sternsystems würden ein buntscheckiges Bild geben, nicht das einer geschlossenen Differentiationsreihe, wie es die meteoritische Gesteinssippe nur im Schmelztopf eines einzigen erkaltenden Himmels-körpers erwerben konnte.

wir in früheren Zeiten ein beträchtliches Plus zu erwarten. Denn wenn es sich um einen festen Vorrat solcher Körperchen handeln würde, müßte dieser im Laufe der Jahrtausende einigermaßen erschöpft werden. Demgegenüber ist es nun sehr merkwürdig, daß Meteoriten und -steine, deren Fall heute keineswegs übermäßig selten ist, fossil überhaupt noch nicht bekannt geworden sind<sup>1)</sup>. Tektite aber, jene als Meteoriten angesprochene Gläser, sind eigentlich im Fall noch nie beobachtet worden<sup>2)</sup>, sondern nur quasi fossil, so die Moldawite aus den Pyropensanden Böhmens und Mährens, einer fluviatilen Bildung des Jung-Tertiär bis Alt-Quartär<sup>3)</sup>, und die Australite, Queenstonite und Billitonite aus Eluvialbildungen, die möglicherweise mit ersteren gleichzeitig sein können. Andernorts sind sie auch noch nie gefunden worden. Es fragt sich nun, ob wir dieser negativen Feststellung eine gewisse Bedeutung zubilligen dürfen. Ob wir den Fund fossiler Meteoriten mit einiger Wahrscheinlichkeit erwarten müßten, gesetzt den Fall, sie wären alle geologische Zeit durch mindestens ebenso häufig eingetroffen wie heute. Ich gehe dabei von den Aufschlüssen aus, welche wir der Kohlenproduktion verdanken; denn die ist einmal statistisch leicht erfaßbar und außerdem halte ich es für wahrscheinlich, daß ein Meteorit, besonders Eisen, aber auch die merkwürdigen Meteorsteine im Kohlenbergwerk kaum übersehen würden. Die Bergleute verstehen etwas von Mineralien, müssen auf Verunreinigungen der Kohlen achten und würden einem solchen Fund, schon wegen der wirtschaft-

<sup>1)</sup> Nach Nature 1919 Bd. 103 S. 69 ist auf einem Goldgräberclaim bei Dawson (Klondyke) ein Meteoriten gefunden worden in den „white channel gravels“, die man für pliozän oder älter hält. Aber ein so einzigartiger Fall wie dieser müßte verlässlicher und genauer bezeugt sein. Gesetzt, das Alter jener Terrassenschotter wäre wirklich so hoch, worüber von der Ferne ein Urteil nicht möglich ist, so wäre immer noch eine Untersuchung nötig, ob das Meteoriten gleichzeitig mit dem Schotter „abgelagert“ worden ist oder ob es nachträglich hineingeraten ist, entweder beim Einschlagen oder durch Nachsacken, was in einem dem arktischen Bodenfließen ausgesetzten Land leicht möglich ist. Die Angabe „deep lying“ des Berichtes ist nicht genügend.

<sup>2)</sup> Der angeblich bei Igast gefallene Tektit hat sich als höchst irdisches Produkt erwiesen (vgl. Michel, Fortschritte usw. S. 248 u. 325), was einigermaßen vorsichtig gegen gewisse Folgerungen macht, die man dort aus Oberflächenerscheinungen ziemlich voreilig gezogen hat (vgl. Michel, Fortschritte usw. S. 317).

<sup>3)</sup> Bearbeitete Splitter davon fanden sich im Aurignacien von Nieder-Österreich = letzte Zwischeneiszeit, das ist mindestens 20000 Jahre alt (nach I. Bayer), Michel, Fortschritte usw. S. 266 u. 319. Vgl. F. E. Suess, l. c. S. 57.

lichen Perspektiven, nachgegangen sein. Die Wahrscheinlichkeit, daß er dort übersehen wird, ist jedenfalls geringer als an der Erdoberfläche, wo in wenig bewohnten Gegenden ziemlich viel in Verlust geraten. Die Gesamtmenge an Kohle (Stein- und Braunkohle), die seit Beginn der modernen Bergwirtschaft bis heute gefördert worden ist, kann man auf 45—50 Milliarden Tonnen schätzen<sup>1)</sup>. Rechnet man das spezifische Gewicht der Kohle durchschnittlich auf 1.3, so sind das 35—38 Milliarden m<sup>3</sup>. Man rechnet nun, daß im Jahre eine Kohlschicht von 0.2 mm Dicke entstehen kann<sup>2)</sup>, so würde jene Kohlenmenge die Produktion einer Landfläche von 175—190 Millionen km<sup>2</sup> während eines Jahres darstellen, d. h. wir haben damit die Kontrolle von  $\frac{34}{100}$ — $\frac{37}{100}$  der Erdoberfläche auf 1 Jahr. Die Zahl der Meteoritenfälle hat Berwerth<sup>3)</sup> auf zwei Wegen zu schätzen versucht: a) in Frankreich (536 400 km<sup>2</sup>) sind in den letzten 100 Jahren 50 Meteoriten bekannt geworden, ebensoviel dürften übersehen worden sein. Das ergibt, daß ca. 950 Meteoriten alljährlich die Erdoberfläche treffen müßten, oder auf 1 Million km<sup>2</sup> im Jahre knapp 2 Meteoriten.

b) Alljährlich werden im Durchschnitt überhaupt 4.3 Meteoritenfälle bekannt, wobei nach Berwerth wohl nur  $\frac{1}{100}$  der Landoberfläche (149 000 000 km<sup>2</sup>) unter Beobachtung stehen. Das gäbe auf 1 Million km<sup>2</sup> knapp 3 Meteoritenfälle im Jahr. Demnach sollten uns allein aus den geförderten Kohlen 350—570 fossile Meteoriten bekannt geworden sein. Bedenkt man, daß außer Kohlen noch taubes Gestein in kaum geringeren Mengen gefördert werden muß, andererseits, daß manche Meteoritenfälle nicht nur ein, sondern bis hunderte Stücke geliefert haben, so wird man begründetermaßen erwarten, daß aus den Kohlenbergwerken allein uns 500—1000 fossile Meteoriten bekannt geworden sein sollten. Man kann dagegen einwenden, daß in Mooren, aus denen die Kohlen entstanden, die Meteoriten durch die humushaltigen Wasser zerstört worden sein müßten. Gewiß, in manchen Schichten des Moores wird Eisen angefressen werden, aber nicht in allen; denn in den Hangend- bzw. Liegendenschiefern (seltener Sandsteinen), in denen Eisen gefällt zu werden pflegt (Zone der Kohleneisensteine), kann andererseits Eisen nicht gut gleichzeitig gelöst werden;

<sup>1)</sup> Nach den Tabellen in O. Stutzer, Nichterze, Nachtrag III, 1914, S. 305—306.

<sup>2)</sup> Vgl. B. Kubart, Bemerkungen zu Alfred Wegeners Verschiebungstheorie S. 19—23. Graz 1926.

<sup>3)</sup> Berwerth, Friedr., Tschemm. Min. Mitt. 1903 Bd. 22.

abgesehen davon, daß in Tonschiefern vielfach die Durchlässigkeit zum Abtransport eines massiven, großen Eisenbrockens nicht langen wird. Und auch mitten im Moor ist nicht alles gelöst worden. Man findet heute in der kompakten Kohlenbank Gerölle von kristallinen Gesteinen (in Oberschlesien solche von Granulit, Granit, Gneis, Pegmatit, Granit- und Quarzporphyr), nicht ganz frisch freilich, immerhin aber zeigen die Feldspate gelegentlich noch Lamellierung im Dünnschliff (D. Stur, Jahrb. der geolog. R.-Anst. 1885 S. 618) und neben sonstigen wieder aufgearbeiteten Karbongesteinen auch Gerölle von Kohleneisenstein (angegeben aus Oberschlesien: D. Stur, l. c. S. 635, und aus Westfalen: O. Stutzer, Nichterze II S. 184). Auch sind mitten in Braunkohlen und auch in Steinkohlen (D. Stur, l. c. S. 632) Muschel- und Schneckenschalen vielfach erhalten geblieben, die ursprünglich doch aus dem leicht zerstörbaren Aragonit bestanden haben. Es kann also nicht einmal behauptet werden, daß alles Eisen hätte gelöst werden müssen und jedenfalls, die Steinmeteoriten, der Zahl nach heute wenigstens stark überwiegend, hätten ebensogut wie die erwähnten Gerölle von kristallinen Gesteinen erhalten bleiben müssen und wären den Bergleuten noch sonderbarer erschienen als jene, und mit noch größerer Wahrscheinlichkeit aufgesammelt worden. Nun sind aber Kohlen nicht die einzigen Gesteine, welche die moderne Technik durchgewählt hat, nur daß eine Gesamtsumme der Förderung von Bausteinen, Tonen und Schottern und überhaupt von Sedimenten, die entweder zur unmittelbaren Benutzung oder bei Gelegenheit irgendwelcher Tiefbauten umgearbeitet worden sind, kaum gegeben werden kann. Ich glaube aber nicht, daß das weniger ausmacht als die Kohlen, im Gegenteil. Und auch die Tausende, die heute Geologie als Beruf betreiben, werden alljährlich eine ziemliche Zahl Quadratkilometer Schichtenflächen inspizieren. Nun, Meteoriten, die auf Festlandsgebiet mit humidem Klima fallen, werden vielleicht ganz zerstört werden, aber Festlandsabsätze spielen bei den vorgenannten Gesteinen die allergeringste Rolle. In marinem Schlamm pflegt ein einmal ordentlich eingebetteter Gegenstand auch fossilisiert zu sein (wie die Kügelchen in dem roten Tiefseeton, vgl. S. 199). Hypothesen, daß irgend etwas dagewesen, dann aber weggeschafft worden wäre, sind manchmal aufgestellt worden. Wissenschaftliche Berechtigung kann man diesen Gedankengängen nur zuerkennen, wenn irgendwelche Relikte, Zwischenstadien u. dgl. beobachtet werden können. Wie bei gewissen Arten der Diagenese oder Metamorphose die Fossilien verschwinden, wie aus

bunten Schottern verarmte Quarzkiese entstehen, wie Fels in Erde gewandelt wird, das ist Schritt für Schritt zu verfolgen und zu belegen. Die Meteoriten sollen aber nur vorkommen ganz frisch oder ganz nullifiziert? Vorgänge, die keine beobachtbaren Spuren hinterlassen, sind für den Geologen nicht diskutierbar, und daß ein Naturvorgang restlos null gegen null aufgeht, ist überhaupt unwahrscheinlich. Schlimmstenfalls könnte nur ein Bruchteil der gefallenen Meteoriten zerstört worden sein. Der Rest müßte immerhin in den untersuchten Schichtgesteinen noch nach Hunderten zählen. Gefunden hat man weder einen fossilen Meteoriten noch irgendeinen halbzerfressenen, der jenen vermuteten Zerstörungsvorgang illustrieren würde. Auch der Steinzeitmensch, der fleißig Steine gesucht und manche Raritäten gefunden (Nephrite z. B.), hat zwar Moldawite (vgl. S. 204) gefunden, aber kein Meteoreisen, das er doch auch kaltbearbeitet sehr gut hätte brauchen können. Und doch haben wir prähistorische „Sammlungen“ von recht zerstörbaren Mineralien (Sulfiden z. B.) gut erhalten überkommen. Die wahrscheinlichste Folgerung aus diesen Tatsachen ist, daß eben erst Mitte Quartär oder noch später Meteoriten der uns heute geläufigen Nifemasippe auf die Erde zu fallen haben begonnen.

Wir schließen daraus, daß die Meteoriten und Sternschnuppen Bestandteile einer kosmischen Wolke sind, gebildet aus den Trümmern eines zersprengten Himmelskörpers, der zum großen Teil bereits flüssig, zum Teil wohl schon erstarrt gewesen war, und daß unser Sonnensystem sich mit einer Geschwindigkeit von rund 20 km/sec durch diese Staub- und Trümmerwolke hindurchbewegt.

Die heliozentrische Geschwindigkeit, welche die Trümmer beim Passieren der Erdbahn haben müssen, setzt sich ungefähr zusammen aus dieser relativen Geschwindigkeit von 20 km/sec plus der parabolischen Geschwindigkeit bezüglich der Sonne (40 km/sec), das gibt 60 km/sec und das ist auch die durchschnittliche heliozentrische Geschwindigkeit, welche Meteoriten und der größte Teil der Sternschnuppen wirklich haben<sup>1)</sup>.

Die Dichte dieser kosmischen Staubwolke können wir nach dem schätzen, wieviel Meteoritenmasse jährlich auf die Erdoberfläche fällt.

<sup>1)</sup> Niessl, G. v., Die Bestimmung der Meteorbahn im Sonnensystem, Enzyl. d. math. Wiss. VI/2/10 S. 460 ff. — Cuno Hoffmeister, Beziehungen zwischen Kometen und Sternschnuppen, Enzyl. d. math. Wiss. VI/2/18a S. 951.

Die Angaben über diese grundlegende Ziffer gehen allerdings weit auseinander, von 7.3t pro Jahr (Rudzki), auf 450t (Berwerth—Brezina, nur aus den Fällen großer Meteoriten ohne Staub), 20000 t (Arrhenius), 36500 t (Farrington) bis 100000 t (Merrill). Vgl. Michel, Fortschritte usw. S. 265. Wir haben oben (S. 200) die Ziffer 6000 t pro Jahr diskutiert; wir nehmen also als Mittelwert  $6 \cdot 10^9$  g pro Jahr an. (Und in gewissen Fällen als Maximal  $6 \cdot 10^{10}$  g.)

Bewegt sich nun durch eine solche kosmische Staubwolke von der Dichte  $\rho$  ein Himmelskörper in der Gestalt einer Kugel vom Radius  $R$  die Strecke  $l$ , so fängt er nicht bloß jene Teilchen heraus, die von Anfang an auf seinem Weg gelegen wären, sondern auch jene, welche infolge seiner Attraktion in diesen Weg hineingezogen worden sind; wir können das dadurch ausdrücken, daß wir statt der Dichte  $\rho$  der ungestörten Wolke, die größere Dichte  $f \cdot \rho$  der durch den Körper gestörten einführen, wobei der Verdichtungskoeffizient  $f > 1$  ist<sup>1)</sup> und abhängt von dem Verhältnis, in dem  $v$ , die Geschwindigkeit des fraglichen Himmelskörpers bezüglich der Wolke, zu  $v_p$  steht, der parabolischen Geschwindigkeit an der fraglichen Kugeloberfläche des attrahierenden Himmelskörpers nach der Formel

$$f = 1 + \left( \frac{v_p}{v} \right)^2.$$

Damit bekommen wir für das Sonnensystem an der Erdbahn:

$$v_p = 40 \text{ km/sec} \quad v = 20 \text{ km/sec} \quad f_1 = 5$$

das Sonnensystem an der Sonnenoberfläche:

$$v_p = 195 \text{ km/sec} \quad v = 20 \text{ km/sec} \quad f_2 = 100$$

die Erde<sup>2)</sup> im Sonnensystem an der Erdoberfläche:

$$v_p = 11 \text{ km/sec} \quad v = 30 \text{ km/sec} \quad f_3 = 1.12$$

Der Verdichtungskoeffizient für unser Problem ist

$$f = f_1 \cdot f_3 = 5.6.$$

<sup>1)</sup> Nach Trabert, Lehrb. d. kosm. Physik S. 191 ff.

<sup>2)</sup> Für unser Problem haben wir offenbar nicht bloß die Attraktion der Sonne einzustellen, welche allerdings das meiste ausmacht, sondern auch die der Erde. Bei Kalkulation dieses Einflusses haben wir aber die Staubteilchen bereits von der Sonne sozusagen in ihr System einverleibt anzusehen und in dieser quasi geschleppten Wolke ist die relative Geschwindigkeit der Erde 30 km, wie ihre Revolution um die Sonne. (Anzumerken ist, daß nach Obigem die Meteoriten auf die Sonne etwa 20mal so dicht als auf die Erde fallen müssen.)

Gefangen werden somit alle Teilchen, welche einen geraden Kreiszylinder vom Radius  $R$  der Grundfläche und der Höhe  $l$  mit der Dichte  $f \cdot \rho$  erhalten, somit ist die Masse des aufgefangenen meteoritischen Materials

$$m = R^2 \pi \cdot l \cdot f \cdot \rho$$

woraus umgekehrt  $\rho = \frac{m}{R^2 \pi \cdot l \cdot f}$  folgt.

Im übrigen ist der mittlere Erdradius  $R = 6.37 \cdot 10^8$  [cm] [log 8.80414] und  $l$  ist der Weg, den das Sonnensystem bei 20 km/sec =  $2.10^6$  [cm, sec<sup>-1</sup>] Geschwindigkeit im Laufe eines Jahres (=  $3.1558 \cdot 10^7$  sec [7.49911]) zurücklegt. Das gibt als Dichte der fraglichen kosmischen Staubwolke

$$\rho = 1.3317 \cdot 10^{-23} \text{ [g, cm}^{-3}\text{]} \quad [\text{log } 0.12439 - 23].$$

Betreffs Ausdehnung dieser Wolke ist wohl daran festzuhalten, daß das Sonnensystem seit historischen Zeiten (d. i. ca. 5000 Jahre) sich in derselben befinden muß und, da bis heute eine Abnahme der Dichtigkeit nicht bemerkbar ist, es sich offenbar noch tief in derselben befindet. Als unterste Grenze wäre also der Weg anzusehen, den das Sonnensystem in 10000 Jahren durchläuft:

$$L_0 = 6.31 \cdot 10^{17} \text{ [cm]} \quad [\text{log } 17.80014].$$

Das sieht in Kilometer-Ziffern sehr großartig aus, im kosmischen Maß ist es weniger auffallend, es bedeutet nicht mehr als  $\frac{2}{3}$  Lichtjahre, eine solche kosmische Wolke würde noch lange nicht bis zum nächsten Fixstern reichen. Dieses Ausmaß habe ich allerdings aufs knappste bemessen. Ich glaube, daß man doch annehmen muß, daß wir schon in den letzten Stadien der letzten Eiszeit (das wäre vor 10000 Jahren) in die Wolke eingetreten waren, äußerstenfalls gegen Ende der letzten Interglazial (Fehlen von bearbeiteten Meteoriten bei den Paläolithikern, die doch z. B. die Moldawite gekannt haben) und das wäre vor 30 bis 50000 Jahren.<sup>1)</sup> Daß wir uns heute noch ziemlich in der Mitte befinden, muß wohl für alle Fälle gelten.

Zur Schätzung der Gesamtmasse der Wolke nehmen wir an, daß sie überall die gleiche Dichte hätte und eine Kugel vorstellen würde, deren Halbmesser  $H$  dem Weg des Sonnensystems in 10000 Jahren, entsprechen möge ( $6.31 \cdot 10^{17}$  cm), dann berechnet sich  $M = \frac{4\pi}{3} H^3 \cdot \rho$

<sup>1)</sup> Vgl. Köppen-Wegener, Die Klimate der geologischen Vorzeit, bes. S. 245. Nach S. 161 bzw. der Tafel ebendort wäre allerdings mit 70—80000 Jahren, also etwa mit dem Doppelten zu rechnen. Nach Michel (Fortschritte usw. S. 266 u. 319) rechnet J. Bayer 20000 Jahre.

also mit dem früher berechneten Wert von  $\rho$ ,

$$M = 1.4 \cdot 10^{31} \text{ g} \quad [\log: 31.14690],$$

Nehmen wir nun zum Vergleich die

$$\text{Masse der Erde} \dots E = 5.9697 \cdot 10^{27} \text{ g} \quad [\log: 27.77595]$$

$$\text{Masse der Sonne} \dots S = 1.9831 \cdot 10^{33} \text{ g} \quad [\log: 33.29734]$$

dann können wir anschaulicher sagen:

$$M = E \cdot 2350$$

$$M = S \cdot 0,0071 = \frac{S}{141.4}.$$

Diskutieren wir die äußersten Grenzen, bis zu denen der Wert von  $M$  schwanken kann. Die lineare Ausdehnung der Wolke können wir nicht unter die Hälfte des von uns als wahrscheinlich angenommenen Wertes ansetzen (s. oben), auch die Durchschnittsdichte dürfen wir kaum unter  $\frac{1}{3}$  der oben benutzten senken (sonst wird  $m$ , die Masse der im Jahr zur Erde kommenden Meteoriten, doch zu klein). Daraus folgt, daß die unterste Grenze bei  $\frac{1}{3} \cdot (\frac{1}{2})^3 \cdot M$  oder, mit anderen Worten, bei  $100 E$ , der hundertfachen Erdmasse, liegt. Für die obere Grenze ist natürlich ein Haltepunkt viel schwerer zu finden. Wir können sagen, die Erde kann äußerstenfalls vor 40000 Jahren in die Wolke eingetreten sein; aber wie lange sie noch brauchen wird, um dieselbe zu durchlaufen, darüber kann jedermann seine eigene Ansicht haben. Immerhin glaube ich, daß die Annahmen einer allzu großen Ausdehnung nicht viel Wahrscheinlichkeit für sich hat (worüber später nochmals) und daß demnach  $\frac{1}{2} S$ , die Hälfte der Sonnenmasse, so ziemlich das äußerste Annehmbare wäre (Durchmesser etwa 7—10 Lichtjahre). Aller Wahrscheinlichkeit nach liegt also die Gesamtmasse der kosmischen Wolke zwischen der der Erde und der Sonne, aber viel näher an der letzteren, und der Himmelskörper, durch dessen Zertrümmerung sie entstanden ist, war daher viel eher ein kleiner (erkalteter) Fixstern als ein Planet.<sup>1)</sup>

Wir müssen nun erörtern, welchen Einfluß eine kosmische Staub-

<sup>1)</sup> Es ist mir nicht entgangen, daß sämtliche Massenschätzungen viel geringer ausfallen würden, wenn man annähme, daß Sonnensystem und Staubwolke ungefähr nach gleicher Richtung und mit wenig verschiedener Geschwindigkeit sich durch das Fixsternsystem bewegen würden. Wie groß die Wahrscheinlichkeit einer solchen gedoppelten Koinzidenz wäre, brauchen wir nicht zu diskutieren; denn wenn dieser Fall vorläge, müßten die eintreffenden Meteoriten im Mittel parabolische Geschwindigkeit haben; die Beobachtung dagegen gab im Mittel etwa eine anderthalbmal so große! (vgl. S. 196). Das schließt jene Annahme völlig aus.

wolke von den besprochenen Dimensionen (Ausdehnung, Dichte) auf die Erde oder das Sonnensystem bei der Durchquerung derselben ausüben würde und ob dies irgendwo zu merk- und meßbarem Ausdruck kommen könnte.

Was die Attraktion betrifft, welche eine derartige kugelförmig gedachte Staubwolke ausübt, so ist sie in dem Moment am größten gewesen, wo das Sonnensystem in ihren Rand eingetreten ist, und zwar wäre sie so groß, als ob die ganze Masse im Zentrum der Staubwolke vereinigt gewesen wäre. Nun, die Attraktion eines Fixsternes mittlerer Größe (was, wie wir sehen, die obere Grenze der Masse sein kann) aus der Distanz von etwa einem Lichtjahr ist nicht sehr groß und außerdem würde eine solche Einwirkung vielleicht die Bahn des Schwerpunktes des ganzen Sonnensystems merklich beeinflussen können, aber in den Bewegungen seiner Körper gegeneinander kann sie keine meßbaren Störungen verursachen.

Zweifellos wird durch die auf sie fallenden kosmischen Trümmer die Masse der einzelnen Körper unseres Sonnensystems vergrößert. Wir haben aber angenommen für die Erde einen Zuwachs von 6000 t im Jahr. ( $6 \cdot 10^9$  g / Jahr oder  $1,2 \cdot 11^{-9}$  g / pro Jahr und  $\text{cm}^2$  Oberfläche). Andere Schätzungen gingen höher, aber wenn wir auch das 10fache annehmen würden, so ist, weil die Erde eben die Masse hat  $E = 6 \cdot 10^{27}$  g, der Zuwachs  $\Delta E = E \cdot 10^{-17}$  pro Jahr oder für die gesamte historische Zeit von etwa 2000 Jahren  $\Delta E_{2000} = 2 \cdot 10^{-14} E$  ... Nach früheren Ausführungen (vgl. S. 208) dürften auf die Sonnenoberfläche die Meteoriten etwa 20mal so dicht fallen, d. i. (wenn wir mit der höheren Ziffer 60000t rechnen wollen)  $2,4 \cdot 10^{-7}$  pro Jahr und  $\text{cm}^2$  oder, weil die Oberfläche der Sonne ca. 11818 mal so groß als die der Erde ist, im ganzen  $1,4182 \cdot 10^{16}$  g [log 16,15173] d. i. 1,15 Milliarden Tonnen im Jahr. Das scheint eine ganz schöne Masse; aber da die Sonnenmasse ist  $S = 1.98 \cdot 10^{33}$  g, so ist der jährliche Zuwachs  $\Delta S = S \cdot 10^{-17}$ .

Betreffs des Einflusses, den die Änderung der Masse auf die Bewegungen des Sonnensystems haben können, ist zu bemerken, daß in den Bewegungsgleichungen nur die Kombination  $\frac{m}{M} = \frac{\text{Planetenmasse}}{\text{Sonnenmasse}}$  vorkommt, weswegen sich in den Gliedern erster Ordnung  $\Delta S$  und  $\Delta E$  ungefähr wegheben werden, aber auch ohne dem sind Änderungen der Elemente im Bruchteil  $10^{-17}$  oder selbst  $10^{-14}$  in unseren Beobachtungen leider noch lange nicht feststellbar.

Man könnte vermuten, daß der Widerstand, den die Erde

auf ihrer Bahn in den Meteoriten findet, eher zu meßbarer Größe anwachsen würde. Die genaue Ziffer ließe sich nach dem Wahrscheinlichkeitskalkül berechnen. Für unsere Schätzung genügt aber eine viel einfachere Überschlagsmethode. Die größte Geschwindigkeit, mit der Meteore auf die Erde stürzen, kann sein: Bahngeschwindigkeit der Erde um die Sonne 30 km + parabolische Geschwindigkeit relativ zur Sonne 40 km + eigene Bewegung des Sonnensystems 20 km, zusammen 90 km gegen die Erdbewegung. Mit der Erdbewegung können Einschläge mit maximal 40 + 20 - 30 = 30 km erfolgen, aber wie leicht einzusehen viel seltener. Da außerdem das Mittel der Quadrate zur Verwendung kommt, wird es wohl nicht zu wenig sein, wenn wir der gesamten Masse der Meteoriten (maximal mit  $6 \cdot 10^{10}$  g fürs Jahr angenommen) eine Gegengeschwindigkeit von 80 km zuschreiben ( $8 \cdot 10^6$  cm/sec).

Die Wirkung einer solchen Hemmung müßte dazu führen, daß die Erde sich der Sonne mehr nähert. Der Einfachheit halber wollen wir annehmen, daß die heutige Erdbahn ein Kreis sei, und daß die Hemmung zwar eine Verkleinerung des Radius, aber bei Aufrechthaltung der Kreisform bringen würde (was unter gewissen Bedingungen eine genügende Annäherung geben wird). Für eine Kreisbahn gilt die Bedingung, daß die Fliehkraft der Attraktion gerade die Wage halten muß:

$$\frac{v^2}{r} = \frac{GM}{r^2}$$

Daher ist die kinetische Energie  $L = \frac{mv^2}{2} = \frac{GMm}{2r}$  und die Änderung derselben bei Änderung des Radius  $\Delta r$

$$\Delta L = -\frac{GMm}{2r^2} \Delta r.$$

Die Änderung der potentiellen Energie  $w$  ist

$$\Delta W = +\frac{GMm}{r^2} \Delta r$$

und die gesamte Energieänderung

$$\Delta E = \Delta W + \Delta L = \frac{GMm}{2r^2} \Delta r$$

Wir hatten den Energieverlust durch Hemmung

$$\Delta E = -\frac{1}{2} \cdot (6 \cdot 10^{10} \text{ g}) \cdot (8 \cdot 10^6 \text{ cm/sec})^2,$$

d. h. gleich der lebendigen Kraft, welche die Meteoriten durch Sturz auf die Erde verlieren

$$\Delta E = -1.92 \cdot 10^{24} \text{ Erg / im Jahr}$$

und damit aus der vorstehenden Formel  $\Delta r = \frac{2r^2}{GM} \Delta E$ , wobei wir die Halbmesser der Erdbahn setzen  $r = 1.4940 \cdot 10^{13}$  cm [log 13.17436], Sonnenmasse  $M$  und Erdmasse  $m$  wie früher, Gravitationskonstante

$$G = 6.676 \cdot 10^{-8} [0.82454-8]$$

und erhalten:

$$\Delta r = -1.0845 \cdot 10^{-3} \text{ cm / im Jahr}$$

Die Änderung der Umlaufzeit (des Sonnenjahres) zu rechnen — nach dem 3. Keplerschen Gesetz — ist wohl überflüssig: *minima non curat praetor*. Auch die anderen Bahnelemente (Exzentrizität, Neigung gegen die invariable Ebene) müssen gleichzeitig gestört werden, aber wenn die Störung des einen Hauptelementes, des Radius Vektor, so verschwindend klein ist, dürften auch jene Störungen sich menschlicher Beobachtungen völlig entziehen.<sup>1)</sup>

Ferner ist zweifellos, daß die Abbremsung der auftretenden Meteoriten eine gewisse Wärmemenge liefert. Für die Erde brauchen wir nur die im vorigen Absatz bestimmte Energie  $E$  in Kalorien umzurechnen (wobei die Grammkalorie sei: 1 g cal =  $4.189 \cdot 10^7$  Erg. [log 7.62211]). Danach erhält die Erde jährlich maximal die Wärmemenge zugeführt:

$$Q_e = 4.5834 \cdot 10^{16} \text{ g cal.}$$

oder, da ihre Oberfläche ist  $5.0995 \cdot 10^{18}$  cm<sup>2</sup> [18.70753]: pro cm<sup>2</sup> und Jahr

$$q_e = 0.0089880 \text{ g cal.}$$

Da die sogenannte Solarkonstante 1.95 g cal. pro cm<sup>2</sup> und Minute beträgt, wird dies für den gesamten Wärmehaushalt der Erde nicht viel ausmachen. Man könnte aber glauben, daß diese Wärmemenge in den obersten Luftschichten, denen sie ja fast ausschließlich zugute kommt, bei der geringen Masse derselben doch merkbar werden könnte. Es ist nun nach Hann<sup>2)</sup> die Masse der ganzen Atmosphäre  $5.2 \cdot 10^{21}$  g und der Barometerstand in 50 km Höhe 0.32 mm, daher ist die Masse der Luftschichten ober 50 km  $0.32 \cdot 5.2 \cdot 10^{21}$  g, das ist  $2.2 \cdot 10^{18}$  g, und wenn dieser Masse im Jahr  $4.6 \cdot 10^{16}$  g cal. zugeführt werden, so wird das auch dort nicht viel ausmachen. Nebenbei bemerkt glaube ich, daß als einzig beobachtbarer Effekt vielleicht luftelektrische Erscheinungen in Betracht kommen könnten. Von einer so außergewöhnlichen

<sup>1)</sup> Aus C. P. Olivier (Meteors S. 227) entnehme ich, daß Bosler in Bull. Soc. Astr. de France (1919 Bd. 33 S. 241) dieses Problem bereits behandelt hat.

<sup>2)</sup> Hann, Julius, Lehrbuch der Meteorologie, 2. Aufl., 1906 S. 9.

Stichflamme, wie eine Meteorbahn sie vorstellt, müssen eine Menge Ionen ausgestreut werden. Auch Luftreibung und Zerstäubung rufen elektrische Wirkungen hervor.<sup>1)</sup> Ob auf diesem Gebiet etwas in den Bereich des Beobachtbaren kommen kann, wage ich nicht zu entscheiden, man könnte es aber bei Untersuchungen über die elektrischen Erscheinungen in den höchsten Schichten der Atmosphäre im Auge behalten. Für die Sonne haben wir anzunehmen, daß die Meteoriten auf ihre Oberfläche rund 20mal so dicht fallen, als auf die der Erde (vgl. S. 208). Durchschnittliche Fallgeschwindigkeit wollen wir annehmen, die parabolische + Eigenbewegung des Sonnensystems im Sternraum  $195 + 20 = 215$  km/sec, was sicher nicht zu niedrig ist. Es fallen also auf  $1 \text{ cm}^2$  Sonnenoberfläche (wieder mit der extremen irdischen Ziffer  $60000 \text{ t / Jahr}$  gerechnet)  $2.4 \cdot 10^{-7} \text{ g}$  Meteoriten im Jahr und erzeugen die Wärmemenge

$$q_s = 5.55 \cdot 10^7 \text{ Erg} = 1.32 \text{ g cal pro cm}^2 \text{ und Jahr}$$

Nehmen wir Solarkonstante,  $1.95 \text{ g cal/cm}^2 \text{ u. Min.}$  und den Sonnenhalbmesser =  $109.26$  des mittleren Erdhalbmessers, dann sendet jeder  $\text{cm}^2$  der Sonnenoberfläche aus in der Sekunde  $1497.4 \text{ g cal}$  und im Jahr  $4.7256 \cdot 10^{10} \text{ g cal}$  oder  $3.58 \cdot 10^{10}$  mal so viel, als die von den Meteoriten erzeugte Wärme beträgt. Bekanntermaßen hat Robert Mayer die Hypothese aufgestellt, daß die Sonnenstrahlung durch die Energie der in die Sonne hineinstürzenden Meteoriten gespeist würde. Nach obigem müßte zu diesem Zwecke die Meteoritenwolke, in der die Sonne sich befindet, mehr als  $10^{10}$  mal so dicht sein, als wir als oberste Grenze angenommen haben. Im gleichen Verhältnis müßte auch der Meteoritenfall auf der Erde größer sein, als wir heute beobachten. Das ist aber ganz unmöglich und zwar für heute und für alle geologischen Zeiten, d. h. für etwa die letzten  $10^9$  Jahre, mit Sicherheit auszuschließen. Ob ähnliche Gedankengänge, welche mit der ja auch in Geologenkreisen beliebten Planetesimaltheorie<sup>2)</sup> verwandt sind, in früheren Entwicklungsstadien unseres Sonnensystems verwertbar wären, will ich dahingestellt sein lassen. Für die Geologie und geologische Zeit mangelt es ihnen sicher an „Aktualität“.

Schließlich wird auch die Rotation der Erde verlangsamt, wenn

<sup>1)</sup> Vgl. Stäger, Zeitschr. f. Geoph. I Bd. S. 109.

<sup>2)</sup> Die Beliebtheit der Planetesimaltheorie scheint allerdings abgenommen zu haben, selbst in Amerika (vgl. G. P. Merrill, Am. Journ. Sc. Vol. 27 1909 p. 469ff.) und bei den Astronomen war sie wohl nie besonders groß (vgl. Eddington, A. S., Nature Vol. 111 No. 2775).

durch den meteoritischen Zuwachs ihr Trägheitsmoment vergrößert wird. Das Trägheitsmoment der Erde ist, nach der Formel  $C = 0.3371 \cdot a^2 M$  berechnet,  $C = 8.027 \cdot 10^{44} \text{ g cm}^2$  [44.90457]. Denken wir nun die  $60000 \text{ t}$ , die alleräußersten Falles der Erde zuwachsen ( $\mu = 6.10^{10} \text{ g/Jahr}$  zu einer Kugelschale angeordnet mit dem Radius  $a$  ( $a = 6.370 \cdot 10^8 \text{ cm}$  [8.80416]), so ist deren Trägheitsmoment  $I = 2/3 a^2 \cdot \mu$ . Ordnen wir sie als Ring um den Äquator allein, was jedenfalls das Extrem jeder möglichen Bevorzugung der Äquatorgegend durch den Apex bedeutet, so ist das Trägheitsmoment  $I' = a^2 \cdot \mu$ . Wir erhalten mit den angegebenen Ziffern  $I' = 2.4348 \cdot 10^{28} \text{ g cm}^2$  und damit das Verhältnis  $\frac{I'}{C} = 3.10^{-17}$

Nach dem Grundsatz der Erhaltung des Rotationsmomentes ( $C \omega = \text{Konst.}$ ) muß die Änderung der Tagesdauer der gleiche Bruchteil des Tages sein. Es würde sich deswegen der Tag seit den Zeiten der alexandrinischen Astronomen noch nicht um  $1/100 \text{ Mill. sec.}$  geändert haben. Größer könnte das Ergebnis auf der Sonne sein. Hier ist die Masse der Meteoriten viel größer und die Masse, also auch das Trägheitsmoment der von der Hemmung in erster Linie betroffenen obersten Gasschichten wahrscheinlich nicht groß, daher könnte die Hemmung an und für sich im Bereich der denkbaren Beobachtungen liegen. Aber wie dem sei, jedenfalls beherrschen die Sonnenrotation viel stärkere Störungen von ganz anderer Wirkungsweise; denn eine solche Hemmung müßte sich am stärksten am Äquator auswirken, tatsächlich aber läuft der Sonnenäquator schneller um als die übrige Sonnenfläche.

Das Ergebnis der vorstehenden Diskussion ist, daß der Einfluß, den eine kosmische Wolke der von uns angenommenen Art auf das Sonnensystem ausübt, in allen Beziehungen ungemein klein ist. Mit den bezüglichen astronomischen Beobachtungen können unsere Annahmen nie in Konflikt kommen. (Auf die Möglichkeit, daß unsere Annahme in der Häufigkeitsverteilung der Meteore nach Raum und Zeit mit den Beobachtungen konfrontiert werden könnte, wollen wir später noch einmal eingehen.)

Auch über die Art der Katastrophe, welche die Trümmer eines Himmelskörpers derart in den Weltraum zerstreut hätte, können wir zu einer Vermutung gelangen. Nehmen wir für das Erste an, es wäre eine ganz zentral wirkende Explosion gewesen, dann würde die Wolke stets Kugelform behalten (von Rotation wollen wir vorläufig absehen). Die Attraktion auf die äußersten Teilchen wäre noch immer genau so, als ob die ganze Masse im Mittelpunkt vereinigt wäre, und

deren Bewegung ist somit jeweils an einen durch diesen Mittelpunkt gezogenen Radius gebunden und leicht zu berechnen. Die Differentialgleichung  $\frac{d^2 x}{dt^2} = -\frac{GM}{x^2}$  gibt bei der ersten Integration

$$\frac{1}{2} \left[ \frac{dx}{dt} \right]^2 = \frac{GM}{x} + C_1.$$

Das Weglassen der Integrationskonstante ( $C_1 = 0$ ) ist offenbar identisch mit der Annahme parabolischer Bewegung ( $v = 0, x = \infty$ ). Darauf kann man die 2. Integration sofort durchführen und bekommt:

$$t = \frac{2}{3} \cdot \frac{x^{3/2}}{\sqrt{2GM}} + C_2.$$

Die Integrationskonstante  $C_2$  können wir wieder vernachlässigen, da sie sich offenbar auf die Bewegung in der Nähe des Zentrums bezieht, deren kurze Dauer gegenüber den uns einzig hier interessierenden ungeheueren Wegen gar nicht in Betracht kommt. Wir führen nun die momentane Dichte der Wolke durch die Gleichung ein  $M = \frac{4\pi}{3} x^3 \rho$  so folgt

$$t_0 = \frac{1}{\sqrt{6\pi G \rho}}.$$

Größere, d. h. hyperbolische Geschwindigkeit hat für uns kein Interesse, da, wie sich zeigen wird, schon die eben ermittelte parabolische Zeit übermäßig klein ist. Die größte Zeit, um die Elongation  $a$  zu erreichen, wird jenes Teilchen brauchen, das dort gerade umkehrt. Die Rechnung geht wieder aus von  $\frac{1}{2} \left[ \frac{dx}{dt} \right]^2 = \frac{GM}{x} + C$ , was man auch schreiben kann:

$$\frac{dx}{dt} = \sqrt{2GM} \cdot \sqrt{\frac{1}{x} - \frac{1}{a}},$$

worin die Integrationskonstante  $a$  offenbar die größte Elongation des Teilchens bedeutet ( $x = a : v = 0$ ).

Die Integration gibt

$$t = \sqrt{\frac{a}{2GM}} \left\{ -\sqrt{ax - x^2} - \frac{a}{2} \arcsin \left( 1 - \frac{2x}{a} \right) + C_3 \right\}$$

und aus der Bedingung  $x = 0, t = 0$  folgt die Integrationskonstante

$$C_3 = \frac{a\pi}{4}$$

für die Zeitdauer, die bis zur weitesten Elongation ( $= \frac{1}{4}$  Schwingung)

verflossen ist, setzen wir  $x = a$  und haben  $t_1 = \frac{\pi}{2} \sqrt{\frac{a^3}{2GM}}$

oder wenn wir wieder  $\rho$  substituieren  $t_1 = \sqrt{\frac{3\pi}{32G\rho}}$ .

Der Unterschied zwischen beiden Zeiträumen ist nicht groß:  $t_1 = t_0 \cdot \frac{3\pi}{4}$ , also ein bißchen über das Doppelte.

Setzen wir wieder den früher benutzten Wert ein  $\rho = 1.33 \cdot 10^{-23} \text{ g cm}^{-3}$  so wird

$$t_0 = 7740500 \text{ Jahre}$$

$$t_1 = 18238000 \text{ ,,}$$

Die Zeit, welche die Staubwolke zur Ausdehnung gebraucht hat, liegt wahrscheinlich zwischen 8 und 18 Millionen Jahren:

Für die Zeit, welche seit jener Katastrophe verflossen wäre, haben wir aber einen weiteren Anhaltspunkt zur Schätzung. Es ist kein Zweifel, daß unter den Bedingungen, die auf den einzelnen Meteorstücken im Weltraum herrschen, die radioaktiven Elemente ebenso instabil sind, als an der Erdoberfläche. Deren Gehalt an U, Th usw. kann seitdem nur abgenommen haben. Messungen über Radioaktivität der Meteoriten liegen allerdings ziemlich wenig vor. Nach der Zusammenstellung bei Michel (Fortschritte usw. S. 300, 301) sind Eisen gar nicht oder sehr schwach radioaktiv; bei Steinmeteoriten ist der Gehalt an Radium meist von der Stellenziffer  $10^{-13}$  ( $g Ra$  in 1 g der Probe); seltener kommt  $10^{-12}$  und  $10^{-14}$  vor, das ist also etwa um eine Zehnerpotenz niedriger als der gewöhnliche Ra-gehalt der irdischen Gesteine. (Untersuchungen über den Th-gehalt habe ich nirgends gefunden.) Wie groß der U-gehalt des ursprünglichen Weltkörpers gewesen ist, wissen wir natürlich gar nicht. Wenn die Vermutung richtig ist, daß diese komplizierten Atome unter den Bedingungen der Fixsterninnenräume aufgebaut werden, sollte er verhältnismäßig groß gewesen sein. Daß er kleiner gewesen wäre, als wir ihn heute auf der Erde beobachten, können wir nicht annehmen. Es ist nun die Halbwertszeit des U  $4.5 \cdot 10^9$  Jahre, also würde nach Ablauf von  $10^{11}$  Jahren beispielsweise nur  $2^{-22} = 1/4.2$  Mill. des ursprünglichen Urangeshaltes noch vorhanden sein. Somit kann  $10^{11}$  Jahre auf alle Fälle als Stellenwert der oberen Grenze für die ganze Zeitdauer angesehen werden.<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Bei dieser Gelegenheit muß wohl aufmerksam gemacht werden, daß der K-Gehalt der Moldawite, der schon in anderer Beziehung auffällig wäre, auch in der Hinsicht Bedenken erregt, daß gerade dieses Element, das einzige, das außer U und Th Anzeichen einer gewissen Radioaktivität verrät, ganz im Gegensatz zu jenen angereichert worden sein soll.

Im vorigen Absatz hatten wir aus der Gravitationsbewegung einen Zeitraum von 8 bis 18 Millionen Jahren berechnet, der nötig wäre, um unsern Himmelskörper bis zu einer Staubwolke von der beobachteten Dichte  $1.3 \cdot 10^{-23}$  [g cm<sup>-3</sup>] zu zerstäuben. Diese Zeit wird auf keinen Fall genügen, um den Gehalt an Radioelementen irgendwie zu verringern. Aus letzterer Rücksicht hatten wir vermutet, daß seit der Katastrophe 10<sup>10</sup> bis 10<sup>11</sup> Jahre abgelaufen sein müßten. Man könnte nun diesen Widerspruch dadurch beseitigen, daß wir annehmen, die Wolke sei bis zu einer viel größeren Ausdehnung auseinandergeblasen worden und jetzt beim Wiederzusammenfallen eben auf diese Dichte erst gelangt. Da gibt nun unsere früher entwickelte Formel für die Distanz welche ein Teilchen der Außenfläche erreicht, wenn es nach  $5 \cdot 10^{10}$  Jahren am Umkehrpunkte angekommen sein soll, also in 10<sup>11</sup> Jahren wieder zurückgefallen sein würde:  $a^3 = \frac{8}{\pi^2} \cdot G M t^2$  (worin  $M = 1.4 \cdot 10^{31}$  g, nach S. 209), somit als Halbmesser der Staubkugel  $a = 1.2363 \cdot 10^{20}$  cm [20.09213], das sind 261 Lichtjahre Durchmesser der Wolke bei ihrer größten Ausdehnung.

Ich halte es für sehr unwahrscheinlich, daß die Staubwolke sich so ungeheuerlich aufgebläht haben könnte, um dann ganz regelmäßig wieder in sich zusammenzufallen. Das würden Störungen durch benachbarte Fixsterne, durchpassierende andere kosmische Körper usw. verhindert haben. Wir müssen daher annehmen, daß die Wolke auf andere Art, etwa in ihrer jetzigen Verdünnung, stationär gehalten worden wäre. Auch vom Gesichtspunkt simpler Wahrscheinlichkeitsüberlegung ist diese Annahme wünschenswert. Ist die Wahrscheinlichkeit, daß die Sonne auf ihrem Weg durch den Sternraum ein solches Objekt trifft, an und für sich schon nicht groß, so würde sie fast verschwinden, wenn dieses Objekt nicht ständig vorhanden wäre, sondern nur zu einem bestimmten kurzen Zeitpunkt derart anzutreffen wäre. Das einfachste Mittel, die Staubwolke stationär zu halten, ist eine bestimmte Revolution der Teilchen um den Mittelpunkt.

Für ein Teilchen der äußersten Schichte einer Kugel vom Radius  $x$ , Dichte  $\rho$  oder Masse  $M$ , das mit der Winkelgeschwindigkeit  $\omega$  umläuft, gibt die Bedingung, daß die Zentrifugalkraft der Attraktion die Wage halten soll:

$$x \omega^2 = \frac{G M}{x^2} \quad \text{oder} \quad \omega = \sqrt{\frac{G M}{x^3}}$$

ersetzen wir  $\frac{M}{x^3}$  aus der Gleichung  $M = \frac{4\pi}{3} \cdot x^3 \cdot \rho$ , so ist

$$\omega = 2 \sqrt{\frac{\pi G \rho}{2}}$$

oder, wenn wir annehmen dürfen, daß die Durchschnittsdichte durch die ganze Staubkugel hindurch die gleiche wäre, so würde die Winkelgeschwindigkeit des Umlaufes aller Teilchen die gleiche sein. In diesem Fall könnte man schreiben  $\Sigma m \cdot x^2 \omega = \omega \cdot \Sigma m \cdot x^2$  oder der Flächensatz, der die Bewegung eines  $n$ -Körpersystems charakterisiert, würde in diesem Falle identisch sein mit dem Satze von der Erhaltung des Rotationsmomentes, der für eine zusammenhängende Kugel gälte. Als Trägheitsmoment der homogenen Kugel haben wir  $C = 2/5 \cdot x^2 \cdot M$  und somit für das Rotationsmoment

$$C \cdot \omega = \frac{2}{5} \cdot \sqrt{G M^3} \cdot \sqrt{x}$$

Allerdings die hier angewendeten Vereinfachungen werden wohl kaum genau zutreffen, aber im großen und ganzen wird bei allen plausiblen Massen-Anordnungen gelten bleiben, daß das Rotationsmoment bei konstant bleibender Masse mit den linearen Dimensionen wächst, mit anderen Worten: das Rotationsmoment, das die dünne Staubwolke gerade stationär halten kann, würde bei einer Kontraktion derselben zu einem dichten festen Körper — eine solche als möglich supponiert — diesen glatt zerreißen. Das ist ja auch der Kern der Laplaceschen und ähnlicher Kosmogonien. Dieses Drehmoment, das wir zur Stabilisierung der Staubwolke brauchen, kann also nicht vom ursprünglichen Himmelskörper herkommen, auch nicht von einer Explosion desselben; denn Wechselwirkungen zwischen Massen eines und desselben Systemes verändern das Rotationsmoment des gesamten Systemes nicht. Es muß von außen hineingetragen worden sein; am einfachsten durch exzentrischen Stoß eines zweiten Himmelskörpers. Gewiß, Zusammenstöße von großen Himmelskörpern haben geringe Wahrscheinlichkeit für sich. Aber rein mathematisch gesprochen, bei einer gewissen Dichte des Sternsystems muß ein solcher Zusammenstoß doch in einer bestimmten, wenn auch langen Zeit, in entsprechend großem Raum zustande kommen. Manche neue Sterne sind ja wahrscheinlich direktes Zeugnis solcher Katastrophen und auch das hat eine bestimmte, wenn schon kleine Wahrscheinlichkeit, daß ein den Weltraum durchwandernder Himmelskörper mit der Zeit eine solche Staubwolke antrifft. Damit ist ganz wohl vereinbar, daß nach unserer Hypothese beides ein ganz

singulärer Fall wäre, von dem wir nur aussagen, daß er während der Zeit, für die wir Geologen Belege haben (etwa  $10^9$  Jahre), ein einziges Mal eingetreten ist. Das stimmt auch zu der Ansicht der neueren Astronomen betreffs Seltenheit solcher Kollisionen.<sup>1)</sup>

Damit kommen wir noch einmal auf die Tektitenfrage zurück. Daß sich ein Ereignis, das so geringe Wahrscheinlichkeit für sich hat, wie die Begegnung mit einer kosmischen Staubwolke, und das unserem Sonnensystem  $10^9$  Jahre nicht zugestoßen war, dann knapp hintereinander in zwei voneinander unabhängigen Fällen eintreffen sollte, ist als ganz unwahrscheinlich auszuschließen. Wenn die Tektite wirklich Meteoriten sind, müssen sie in genetischen Beziehungen zu dem heute herrschenden Nifesima-Schwarm stehen. Nun ist es denkbar, daß die äußeren Teile (saures Silikat) oder die jedes einzelnen der zusammengestoßenen Himmelskörper verschiedene Wege eingeschlagen und etwa die äußere Schichte einer einheitlichen Wolke oder zwei nach Doppelsternart umeinander kreisenden Wolken bilden könnten. Aber es ist doch höchst merkwürdig, daß ein so tumultuarischer Vorgang stofflich eine so reine Scheidung bewirkt haben soll und daß jenen sauren Gläsern nicht etliche basische Silikate und Eisenmeteoriten beigemischt worden sind und umgekehrt, unseren Meteoriten nicht einige jener sauren Gläser!

Ich möchte daher die Frage nach der Herkunft der Tektite noch als völlig offen ansehen.

Wenn wir unsere Meteoritenwolke derart durch Zusammenstoß zweier Himmelskörper entstehen lassen (wie Ähnliches schon in manchen kosmogonischen Spekulationen diskutiert worden ist), so folgt daraus, daß die Bewegung dieses Körpersystems nicht als rein zufällig angesehen werden könnte, in der alle Richtungen gleich berechtigt und die Geschwindigkeitsverteilung nur von Attraktion und Eigenbewegung der Sonne abhängig wären (wie bei Diskussionen über die Häufigkeit der Meteore meist vorausgesetzt wurde). Ein so entstandenes Körpersystem hat erstlich eine Art einheitlicher Rotation deren mittlere Geschwindigkeit

$$v = \omega \cdot x = \sqrt{\frac{GM}{x}}$$

ist klein, denn bei  $M = 1.4 \cdot 10^{31}$  g und  $x = 6.31 \cdot 10^{11}$  cm erhält man für die Umlaufgeschwindigkeit in den äußersten Schichten  $v = 1218.2$  cm,

<sup>1)</sup> Eddington, A. S., The Borderland of Astronomy and Geology. Nature 1923 Vol. 111 No. 2775; der einen Zusammenstoß etwa nach mindestens  $10^{14}$  Jahren als wahrscheinlich gelten läßt.

sie scheint gegenüber der Sonnenattraktion (ausgedrückt in der parabolischen Geschwindigkeit) nicht in Betracht zu kommen. Ferner dürfte jenes System eine bestimmte Fortbewegungsgeschwindigkeit im Sternerraum haben, vermutlich geringer als der Durchschnitt der Sterngeschwindigkeit (Zusammenstoß unter Energiezerstreuung), aber doch von der Größenordnung der Sonne in dieser Wolke ungefähr noch von jener selben Größenordnung (ich habe sie darum ohne Bedenken in den früheren Rechnungen mit 20 km/sec, das ist ungefähr der eigenen Geschwindigkeit des Sonnensystems, bezogen auf die Milchstraße, gleichgesetzt) und einer Richtung, welche von der Sonnenbewegung im Milchstraßensystem abweichen wird. Der Apex, Zielpunkt dieser relativen Sonnenbewegung, um den sich die Meteore häufen müßten, ist nun nicht der Zielpunkt der Sonnenbewegung relativ zur Milchstraße, und daher müssen die bisherigen Versuche, eine Beziehung der Meteorhäufigkeit zur Bewegung des Sonnensystems festzustellen, erfolglos gewesen sein, weil man naturgemäß die Häufigkeit nur in bezug auf jenen vermuteten Apex festzustellen versucht hat, aus welchen Ziffern anders orientierte Häufigkeitsmaxima nicht ohne weiteres abzulesen sein dürften. Ich halte es aber gar nicht für aussichtslos, daß man durch eine entsprechende Diskussion der Beobachtungsdaten im angedeuteten Sinn eben jenen Apex der Bewegung der Sonne relativ zur bewegten Wolke wird ermitteln können.<sup>1)</sup>

In Erinnerung an die oben erwähnte kosmogonische Hypothese könnte man sich fragen, ob jene Wolke kosmischer Trümmer und Staub vielleicht hinwiederum als Anfangszustand eines Sonnensystems angesehen werden könnte? Soweit uns Meteoriten bekannt geworden sind, würde eine Zusammenballung von solchen keine Sonne von der Zusammensetzung der unserigen geben. Es würde der nötige Anteil von Gas fehlen. Was das chemisch gebundene Gas anbelangt, so ist, wie schon erwähnt, für die meteorische Nifesima-Gesteinssippe charakteristisch, daß sie viel weniger O enthalten als die entsprechenden irdischen Gesteine und von anderen gasförmigen Elementen ist höchstens ein bißchen Chlor in ihren Verbindungen. Der in den Analysen manchmal

<sup>1)</sup> In diesem Zusammenhange darf wohl daran erinnert werden, daß die Möglichkeit von bestimmten Meteorströmen mit hyperbolischen Bahnen bereits von Fachmännern in Erwägung gezogen worden ist. (Lyriden: C. Hoffmeister, Astr. Nachr. 4789; „interstellare Meteorströme“: G. v. Niessl, Enzycl. d. math. Wiss. VI/2/10 S. 462.

angegebene geringe Wassergehalt (sofern er überhaupt ursprünglich und nicht erst auf der Erde aufgenommen worden ist) gehört wohl nicht zu den chemisch gebundenen, sondern zu den okkludierten Gasen, über die im übrigen wenige Untersuchungen vorliegen. Nach den Angaben bei Michel (Fortschritte usw. S. 299) ist auch diese Art von Gasgehalt wohl um ziemliches geringer als die der durchschnittlichen irdischen Gesteine.<sup>1)</sup>

Ohne Veränderung des Atombestandes kann sicherlich ein Gasball, wie ihn die Sonnen in ihren früheren Stadien darstellen, daraus nicht gebildet werden; ob man annehmen kann, daß im Sonneninnern die fraglichen Gasatome, die zu fehlen scheinen (H, He, O, N usw.), aus Schwermetall oder dergleichen neu gebildet werden, will ich dahingestellt sein lassen. Mir schien es eher annehmbar, daß die Gase, welche die zerstörten Himmelskörper vermutlich besessen hatten, nicht ganz in Verlust geraten sind, sondern auch jetzt noch, allerdings in einer gänzlich unmeßbaren Verdünnung, zwischen den anderen Staubteilchen mitgeführt würden. Nachdem schon die Durchschnittsdichte jener Staubteilchen  $10^{-23}$  war, so müßten diese Gase so verdünnt sein, daß man zugeben kann, daß sie auf astronomisch beobachtbare Vorgänge gar keinen bemerkbaren Einfluß mehr ausüben. In diesem und zwar nur in diesem Falle könnte aus der Staubwolke durch Zusammenballen wieder ein Fixstern entstehen, wie etwa die Sonne (was also nicht sehr wahrscheinlich ist).

<sup>1)</sup> Auch bei Moldawiten ergab sich ein sehr geringer Gehalt an okkludiertem Gas. Beck, Zeitschr. d. Geolog. Ges. 1910 Monatsb. S. 240.

### Nachtrag.

**Während des Druckes erschienen.** Zu S. 196. Hepperger, Jos.: „Über den Einfluß der Erdanziehung auf die Meteorhäufigkeit“. Sitzb. Akad. Wien, math. nat. Kl., Abt. IIa, 1926, Bd. 135, H. 5/6, S. 271—285; bestätigt das Resultat von Hoffmeister u. a. bez. hyperbolische Geschwindigkeit, allerdings mit starkem Vorbehalt wegen der kometarischen Schwärme. Für unser Thema würde das weniger Bedeutung haben; denn es fand sich kein Zusammenhang zwischen den bekannten Steinregen und den großen periodischen Meteorströmen; vergl. darüber Tschirwinsky, Peter: „Gibt es einen Zusammenhang zwischen Steinschauer und periodischen Sternschnuppen?“ Centralbl. f. Miner. usw. 1926, A, S. 332—336.

Zu S. 221. Tschirwinsky, P.: „Monatsstatistik der Meteoritenfälle“. Ibid. 229—240; gibt das Häufigkeitsmaximum auf Mai—Juni; das wäre also scheinbar aus  $330^\circ$  Länge, während Zielpunkt der Sonnenbewegung im Fixsternsystem etwa in  $270^\circ$  Länge nahe an der Ekliptik liegt.