

WILHELM FOERSTER STERNWARTE ^{E.}_{V.} MIT ZEISS-PLANETARIUM BERLIN

BERLIN 41 • Munsterdamm 90 • Insulaner • Ruf 796 2029

Protokoll

der

204. Sitzung der

GRUPPE BERLINER MONDBEOBACHTER

1976 Februar 9

Beginn: 20 Uhr.

Es sind erschienen Frau Bessdörffer sowie die Herren Becker, Buerke, Flöting, Freitag, Franzke, Frenzel, Friedrich, Giebler, Grote, Hänig, Hanke, Holtzer, Huffer, Kinnemann, Klingberg, Kowalec, Kümmel, Kunert, Liebold, Nehls, Radič, Ruska, Schneider, Skarzynski, Stadler, Völker, Voigt.

Herr Kunert eröffnet die Sitzung und stellt eine Telefonverbindung zu Herrn H.-J. Bode in Hannover her, die von allen Teilnehmern über die Lautsprecheranlage des Planetariums mitgehört werden kann. Herr Bode teilt mit, daß die Unterlagen zur Beobachtung der streifenden Sternbedeckung am 11.2. von ihm abgesandt seien. Interessierte Teilnehmer sollen am nächsten Tag im Büro anrufen, um evt. Daten zu erfragen.

Dann dankt Herr Kunert Herrn Friedrich für aufmerksames Lesen der Abschrift der Veröffentlichung von A. Wegener. Herr Friedrich hat mitgeteilt, daß die Koordinaten von drei Mondkratern in der Abschrift unrichtig vermerkt sind. Herr Kunert bemerkt dazu, daß in der Originalveröffentlichung und der amerikanischen Übersetzung die in unserer Abschrift gedruckten Koordinaten genannt sind. Es wären nach Herrn Friedrich folgende Verbesserungen anzubringen:

Pythagoras	β	statt	-63	=	+63
Cleomedes	β	"	+17	=	+27
Boussingault	λ	"	+69	=	+49
	β	"	-50	=	-70

(s. Seite 6 der Anlage zum Mondprotokoll Nr. 203)

Dann gibt Herr Kunert das Wort an Herrn Freitag, der über die Zeitschrift "THE MOON" - Vol. 14, No 1, August 75 - zum Thema "Konferenz über Wechselbeziehungen des interplanetaren Plasmas mit dem Mond" berichtet: "Während der "Interactions Conference" trafen 60 Mondwissenschaftler, einige Plasmaphysiker sowie Sternentwicklungsspezialisten zusammen, um in gelockerter Atmosphäre über ihre neueren Arbeiten zu berichten. THE MOON veröffentlichte 16 Aufsätze sowie die "Zusammenfassung der Konferenzergebnisse" (verfaßt von einem der Teilnehmer). Hier einige Beispiele, die Themenwahl betreffend: Elektrische Oberflächenaufladungen, Ionenhäufigkeit in der Mondnacht, Zusammensetzung der Mondatmosphäre in Abhängigkeit vom Sonnenwind, Entstehung der Mondatmosphäre, Kartographierung magnetischer Felder durch Beobachtung reflektierter Elektronen, LTP und ihre möglichen Ursachen (Lunar Transient Phenomena). Der zuletzt erwähnte Vortrag enthält u.a. auch ein Schema zur einheitlichen Beobachtung und Auswertung von LTP-Ereignissen. Die diesem Referat zugrundeliegenden Aufsätze sind unterstrichen.

Die Theorie der absoluten Ruhe, bezogen auf die Mondoberfläche, beherrschte lange Zeit das wissenschaftliche Denken; daher auch die Hoffnung, daß wenige Mondbrocken die Mondgeschichte klären könnten.

Tatsächlich sind jedoch dynamische Prozesse festzustellen, so daß für Oberflächenveränderungen seit 3 Mrd. Jahren nicht nur Meteoritenbeschuß als Erklärung dienen kann. Es gibt sehr dünne Gasvorkommen, die am besten mit der Exosphäre der Erde zu vergleichen sind; jenem Übergangsbereich zum Weltraum, den wir über 1000 km Höhe ansiedeln. Der Vergleich beruht auf der mittleren freien Weglänge eines Moleküls oder Ions in dieser Schicht. Die Erdexosphäre wird beherrscht durch die Beziehung zwischen dem Erdmagnetfeld und dem Sonnenwind. Wir sprechen von Magnetosphäre, Magnetopause und Magnetschweif.

Komplizierter stellt sich die Mondexosphäre dar. 1. Der Mond hat kein beherrschendes Dipolmagnetfeld, dadurch trifft der Sonnenwind direkt die Mondoberfläche. Es gibt jedoch örtliche Magnetfelder bis zu 100 km Ausdehnung; sie verzerren die Sonnenwindeinwirkung, konzentrieren sie auf kleine Gebiete und schaffen Flecken mit verminderter Sonnenwindeinwirkung.

2. Der zweite Unterschied ist die Temperaturschwankung der unterliegenden Schicht, in diesem Fall der Mondoberfläche. Sie ist ja verantwortlich für die Versorgung der Exosphäre mit Atomen und Molekülen.

3. Alle Monate einmal für 4 Tage bewegt sich der Mond durch den Magnetschweif der Erde, dann gibt es zwar die 150 Grad Celsius auf der Sonnenseite, jedoch keine oder nur geringe Sonnenwindströme.

Soviel zu den äußeren Bedingungen, doch welche Gase hat man tatsächlich nachweisen können? Die "Mondatmosphäre" besteht zu 90% aus Helium, Argon und Neon; sporadisch kommen Moleküle des Methan und Ammoniaks vor. Bis auf Argon 40 sind alle diese Gase zunächst als Ionen des Sonnenwindes auf den Mond gelangt und haben mit den obersten Gesteinsschichten reagiert. Sind nun die Gesteine gesättigt, so geben sie bei weiterer Einstrahlung oder Erhitzung Moleküle oder im Fall der Edelgase Atome ab. Tagsüber bedeutet das für He das sofortige Entweichen aus der Mondexosphäre in den freien Weltraum. Für die übrigen Gase schätzt man gewisse Verflüchtigungsraten. Einige Gaspartikel gelangen jedoch wieder auf die Nachtseite und haben dort die Chance, vom Gestein absorbiert zu werden, um damit erneut in den Atmosphärenkreislauf einzugehen. Anhaltspunkte für diese Prozesse lieferte das Massenspektrometer, das Apollo 17 im Taurus-Littrow-Tal zurückließ. Der vorsichtige Ausdruck "Anhaltspunkte" ist berechtigt, das Gerät war 1973 nur nachts einsatzbereit. Während des Mondtages störten die durch den Raketenrückstart verursachten Gasvorkommen, sie überlasteten die Instrumente. Aus den bis kurz nach Sonnenaufgang gemessenen Werten konnte man jedoch Gasdichten für den gesamten Mondtag abschätzen. Diagramme wurden bereits für He und Argon erstellt. Neon, Methan und Ammoniak entsprechen dem Dichteverlauf von Argon.

Im wesentlichen stammt alles Ar 40 vom Zerfall radioaktiven K40 im Mondinneren. Aus den vermuteten Verflüchtigungsraten ergibt sich, daß Ar 40 kontinuierlich oder in Schüben noch heute aus dem Mondinneren entweicht; sonst könnte es nicht das zweithäufigste Gas nach He sein. Im Laufe der Beobachtung mit Massenspektrometern hat man 2 Gasausbrüche registrieren können. Die Geräte haben Verflüchtigungen von Methan und Stickstoff festgestellt, man schätzt die beteiligten Massen auf 10-50 kg.

Soviel von den Gasen, nun zu den Staubpartikeln. Herr H u f f e r berichtete bereits vor drei Monaten über das Lunar Ejecta and Meteoroids Experiment (leam) und erklärte, daß elektrische Felder und ionisierende Strahlung höchstwahrscheinlich zu den Antriebsmechanismen der Partikelbewegung gehören. Über die elektrische Aufladung des Mondbodens gibt ein weiterer Artikel Auskunft. Ein Körper, der sich in einem Plasmastrom befindet, ladet sich negativ auf. Ein Körper, der einer intensiven Ultraviolett-Strahlung ausgesetzt ist, wird positive Ladung annehmen. Für den Mond resultiert daraus ein komplizierter Ladungsverlauf.

Das SIDE-Experiment (Suprathermal Ion Detector) registrierte die Ladungsverhältnisse, 2/3 der Mondnacht lieferte das Gerät keine Ergebnisse.

Im Durchschnitt wurden Spannungen zwischen +10 bis -100 Volt gemessen. Diese Werte gelten zunächst nur für den Ort des SIDE-Experiments. Man wird an Stellen intensiver magnetischer Felder andere Spannungsverteilungen finden, dort herrschen schließlich andere Sonnenwindgeschwindigkeiten. Um NRM erst einmal aufzuspüren, entsandte man Vektormagnetometer. Diese Geräte müssen sich durch das Magnetfeld bewegen, wie eine Kompaßnadel, um es nachzuweisen. Da die Magnetometer den Mond in 100 km Höhe umkreisten, konnten sie daher nur stärkste Felder lokalisieren. Die Messungen waren auch nur möglich, wenn der Mond sich im Magnetotail der Erde befand. So gefundene NRM (Naturel Remanent Magnetisations) haben außerdem die Eigenschaft, energieschwache Elektronen zu reflektieren. Die reflektierten Elektronen entfernen sich entlang magnetischer Feldlinien und können dadurch in noch großer Entfernung registriert werden. Berücksichtigt man die Lage des interplanetaren Feldes und registriert man ungewöhnliche Elektronenströme, so kann man auf NRM schließen. Die zweite Technik hat bereits zu genaueren Auflösungen geführt als das Vektormagnetometerverfahren. 40% der Mondoberfläche sind jedoch erst kartografiert. Die NRM weisen, bis auf den Krater van de Graaff, keine Ähnlichkeiten mit sichtbaren Strukturen auf.

Im Anschluß daran trägt Herr G i e b l e r eine Arbeit des Geologen Larry Jay Friesen von der amerikanischen Georgia-Universität vor, in der die Emission von flüchtigen Teilchen auf dem Mond behandelt wird ("The Moon" 13/1975, S. 425 ff.):

"Der Autor untersucht zunächst die Arten von Beweisen, die anzeigen, daß die Emission von flüchtigen Teilchen (volatiles) auf dem Mond stattgefunden hat und noch jetzt stattfindet. Er nennt hierfür vier allgemeine Beweistypen.

1. Die vorübergehenden lunaren Erscheinungen ("lunar transient events"), die von erdgebundenen Astronomen beobachtet wurden, wie ungewöhnliche und zeitweilige Aufhellungen, Verfärbungen usw.:

Derartige Erscheinungen wurden zumindest seit der Zeit von Wilhelm Herschel (1787) bis zum heutigen Tage gemeldet. Verschiedene Erklärungen wurden für diese Phänomene vorgeschlagen, und es mag sein, daß nicht alle Beobachtungen gleiche Ursachen haben. Aber die von Kosyrev und anderen Beobachtern erhaltenen Spektren (1959, 1962, 1963, 1967) bestätigen, daß zumindest einige der gemeldeten Vorgänge die Folge innerer Aktivität des Mondes gewesen sind, und daß sie die Emission von flüchtigen Teilchen bewirkt haben.

2. Die Direkt-Messungen durch Instrumente von Apollo-Missionen:

Hierzu gehört die von Freeman gemeldete Entdeckung von Wasserdampf durch Apollo 14 sowie eine durch Apollo 15 entdeckte Gas-Ausströmung. Daten des Apollo 17-Massen-Spektrometers zeigen eine große und veränderliche Ausströmungsrate von Argon an, die augenscheinlich aus dem tiefen Inneren des Mondes kommt. Der Gehalt von Argon in der Mond-Atmosphäre ändert sich stark mit der Zeit, als ob die Freisetzung sehr unstetig stattfindet. Als die wahrscheinlichste Quelle des Argon wird der Mondkern angesehen, weil man annimmt, daß dieser die genügende Menge an Argon liefern kann.

3. Die Steigerungen der Radon- und Polonium-Gehalte, die durch Apollo 15- und 16-Geräte entdeckt wurden:

Diese Steigerungen kommen nur örtlich vor, und, wie die Gammastrahlen-Zählungen anzeigen, sie stehen nicht in einem Zusammenhang mit Uran-Konzentrationen. Das Fehlen eines radioaktiven Gleichgewichts zwischen Radon und Polonium zeigt an, daß die Emissionsrate des Radon nicht stetig ist, sondern, besonders in letzter Zeit, gewechselt hat.

So muß der von Apollo 15 am Aristarch beobachtete starke Radon-Ausbruch tatsächlich gerade in der Zeit dieser Mission oder wenige Tage vorher emittiert worden sein.

4. Das Vorkommen von wieder eingefangenen Argon in lunaren Feingesteinen und deren Anreicherung an anderen flüchtigen Teilchen, ebenso wie die orangefarbenen Bodenproben von Apollo 17, die vermutlich durch flüchtige Teilchen verändert worden sind:

Diese Teilchen-Anreicherungen besagen, daß Teilchen-Transport ein bedeutender Prozeß auf dem Mond gewesen ist. Sie zeigen allerdings nicht an, wann das Transportieren stattgefunden hat. Aber Vergleiche der Apollo 17-Meßergebnisse mit anderen Nachweisen lassen erkennen, daß die Teilchen-Anreicherungen das Ergebnis eines Prozesses sein können, der bis zum heutigen Tag andauert.

Der Autor prüft nun, inwieweit Zusammenhänge bestehen zwischen den nachgewiesenen Teilchen-Emissionen und anderen Arten neuerlicher Mond-Aktivität und stellt fest:

Die Freisetzung sonstiger Teilchen geschieht, wie die Apollo 14- und 15-Missionen zeigten, ebenso sporadisch und episodisch wie die der Edelgase Argon und Radon.

Die Radon/Polonium-Anomalien ereignen sich an Rändern kreisförmiger Maria und an Kratern mit Zentralbergen oder dunklen Lava-Böden, insbesondere bei Aristarch und Grimaldi, also an Stellen, die vorzugsweise als Orte vorübergehender lunarer Erscheinungen genannt werden.

Ein Überblick über die Zeiten, in denen vorübergehende Erscheinungen gemeldet wurden, zeigt, daß diese sich vorwiegend während des Perigäums und des Apogäums ereignen. Das führte auf den Gedanken, daß sie möglicherweise durch Gezeitenwirkung ausgelöst werden und mit seismischer Aktivität des Mondes zusammenhängen, die ebenfalls im Perigäum und im Apogäum ansteigt.

Neuere Beobachtungen erbrachten eine Analyse, die einen solchen Schluß in Zweifel zieht. Sie findet, daß die Gezeiten-Beziehung, wenn vorhanden, nicht vorherrschend auf Perigäum/Apogäum-Anstiege einwirkt, und daß sich ein Zusammenhang der vorübergehenden Erscheinungen mit dem örtlichen Sonnenaufgang besser nachweisen läßt.

In seinem Bemühen um Klärung der Frage, ob vorübergehende optische Erscheinungen mit Gezeiten in Zusammenhang stehen oder nicht, stellt der Autor unter Bezugnahme auf verschiedene Experten, sowie auch auf "Proceedings of the Fourth Lunar Science Conference, 1974" folgende Betrachtungen an:

Die Sonnenaufgangs-Beziehung könnte ein Beobachtungs-Effekt sein, weil Mondbeobachter dazu neigen, ihre Aufmerksamkeit auf die Nähe des Terminators zu konzentrieren.

Anstatt lediglich auf die Umlauf-Phase zu sehen, sollte man die Zeiten der Erscheinungen mit der Vertikal-Komponente der örtlichen Gezeitenwirkung vergleichen, indem man die Änderungen des Bahnverlaufes und der Libration in Rechnung stellt. Als dies für die Krater Aristarch und Gassendi getan wurde, fand man, daß die Häufigkeit der gemeldeten Aktivitäten ihren Höhepunkt im Maximum der örtlichen Gezeiten beider Krater erreicht.

Möglicherweise überlagert ein Sonnenaufgangs-Effekt eine Gezeiten-Periodizität. Wenn nämlich durch Gezeitenwirkung freigesetztes Gas die Mondoberfläche bei Nacht erreicht, dann kann es durch kalten Einfang in den oberen Zentimetern des Bodens gebunden werden und danach am Morgen in die Atmosphäre entweichen.

Vermutlich gibt es mehr als einen Typus von Aktivität, die vorübergehende Erscheinungen auslösen. Einer davon ist sicherlich die durch Gezeiten bewirkte Gas-Emission. Eine weitere mögliche Ursache ist die stark erhöhte Reflexivität durch Staub-Strömungen, die höchstwahrscheinlich mit den seismographisch gemeldeten kurzperiodischen Beben in Zusammenhang stehen.

Als eine mögliche Quelle flüchtiger Teilchen, insbesondere als Quelle von Argon, wird - wie bereits erwähnt - der geschmolzene oder halbgeschmolzene Kern des Mondes angesehen. Klüfte und Flöze in den Randgebirgen kreisförmiger Maria könnten als Kanäle dienen, durch die flüchtige Teilchen vom flüssigen Kern zur Mondoberfläche entweichen können. Dies würde eine Erklärung liefern für die Konzentrationen von vorübergehenden Erscheinungen und von Polonium an Maria-Rändern. Für Krater erscheint eine solche Erklärung indessen nicht anwendbar.

Studien über elektrische Leitfähigkeit zeigen, daß die Temperaturen des Mond-Innern unterschätzt worden sind. Sie ergeben, daß in Tiefen von 300-400 km die Temperatur 1000°C erreichen kann, und daß sie in Tiefen von 500-900 km nahe dem Schmelzpunkt liegen wird. Unter diesen Umständen ist es nicht schwierig, sich vorzustellen, daß in flacheren Tiefen Taschen von Magma oder eingeschlossenem Gas bestehen. Solche örtlichen Taschen könnten "aktiven" Kratern flüchtige Teilchen liefern, während der Mondkern als Teilchen-Quelle für Maria-Ränder dient.

Die Produktion von flüchtigen Teilchen geschieht auf zwei Wegen. Radioaktiver Zerfall kann Argon, Radon und Helium direkt produzieren. Andere Teilchen können produziert werden, wenn "ursprüngliche", d.s. aus der Entstehungszeit des Mondes stammende Teilchen durch Erhitzung freigesetzt werden. Zwar sind die äußeren Schichten des Mondes völlig entleert von flüchtiger Materie. Aber im tiefen Innern wird dies nicht der Fall sein. Die Substanzen, die Kozyrevs Spektren hervorbrachten, und die von Apollo 14- und 15-Geräten entdeckten Ausströmungen müssen von irgendwoher gekommen sein.

Die thermische Freisetzung von Teilchen nichtradioaktiver Entstehung kann das Ergebnis eines Schmelzens oder eines Ausbrennens sein. Es ist der gleiche Weg, auf dem viele Forscher durch Ausbrennen der Mondgesteine deren Gasgehalt in ihren Laboratorien untersucht haben.

Einmal entstanden, entweichen die Teilchen vermutlich in die Mond-Atmosphäre, nachdem sie einen genügend starken Druck aufgebaut haben, der ihnen einen Weg durch Klüfte, Flöze, Brüche oder Kanäle nach oben erzwingt. Gezeiten-Effekte könnten das Entweichen von Gasen fördern.

Andere Aktivitäten, wie etwa Aschen-Ergüsse, könnten das Entweichen von flüchtigen Teilchen begleiten, wenn einiger Vulkanismus auf dem Mond noch tätig ist. Die Möglichkeit eines noch jetzt vorhandenen Vulkanismus sollte, wie der Autor abschließend meint, in Betracht gezogen werden."

Ende der Sitzung: 21.50 Uhr.

Gez. Freitag gez. Giebler gez. Kunert

Die nächste Sitzung der Gruppe BERLINER MONDBEOBACHTER findet am

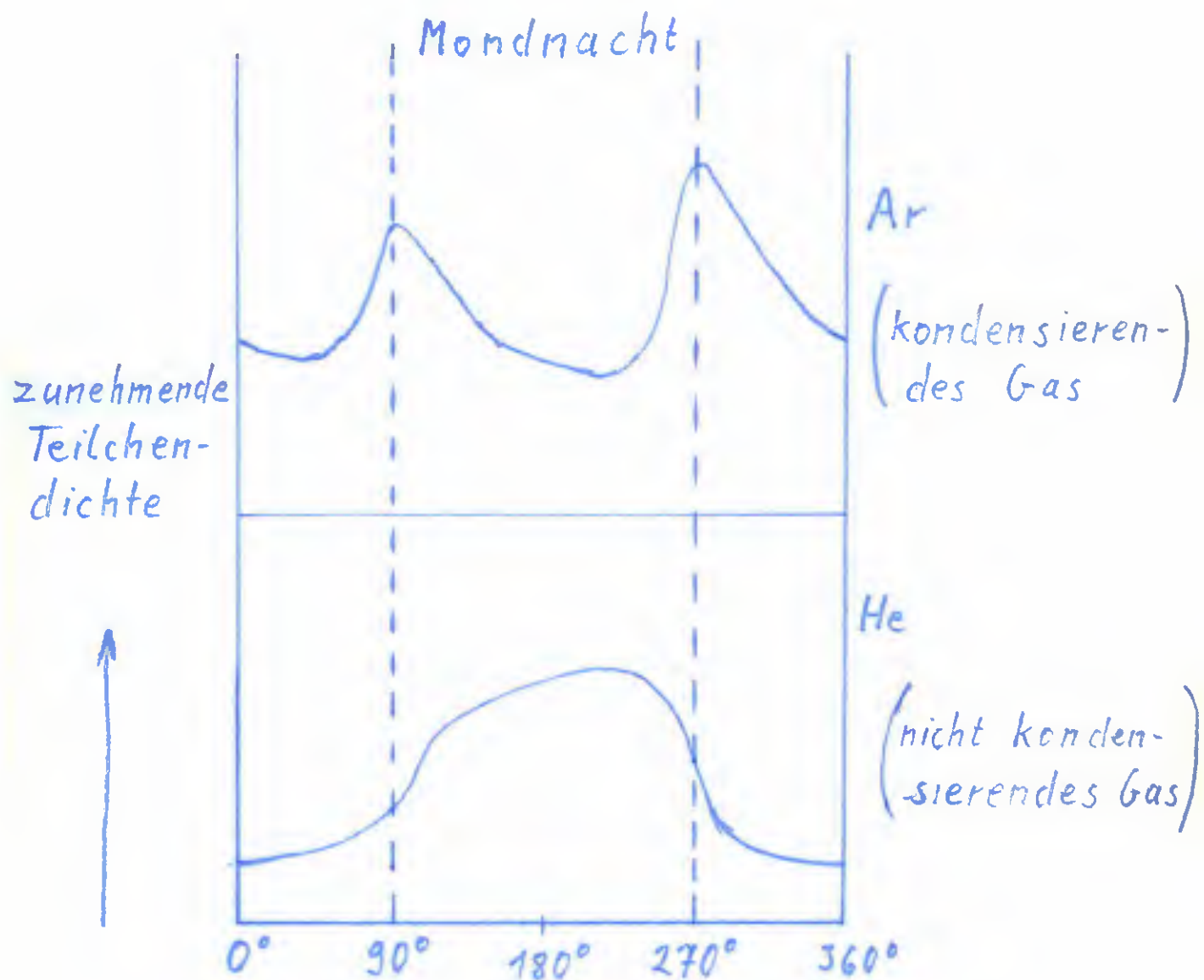
Montag, d. 8. März 1976, um 20 Uhr

im Planetarium am Fuße des Insulaners statt.

Anlage:

Fortsetzung der Originalarbeit "Die Entstehung der Mondkrater" von Alfred Wegener. (Seite 9 - 21.)

Ablage



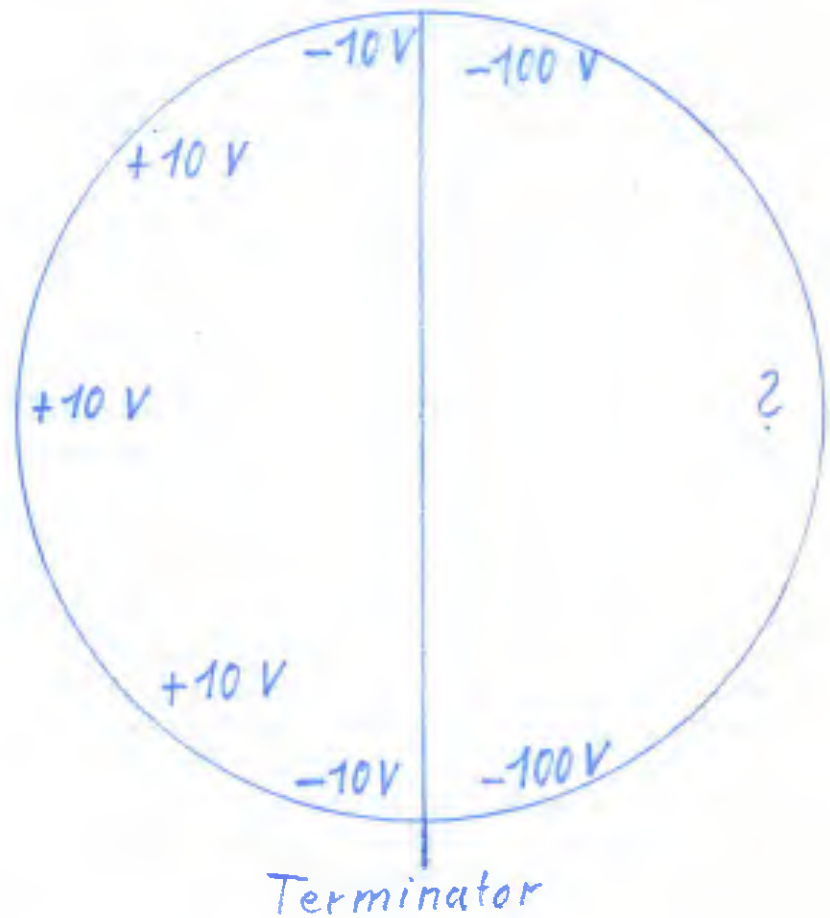
Anlage zum Mondprotokoll Nr. 204

(Freitag)

Abfrage

Elektrische Feldstärke dicht über dem Mond

zur
Sonne



(Freitag)

In keinem Falle aber läßt sich mit diesen unseren irdischen Erfahrungen die geradezu ungeheure Menge der Mondkrater in Einklang bringen. Ist doch die Mondoberfläche in solchem Maße mit Kratern bedeckt, daß es zweifelhaft erscheint, ob es überhaupt irgend einen Punkt dort gibt, der nicht wenigstens früher einmal im Innern eines Kraters gelegen hat. Während auf der Erde die Vulkane insgesamt doch nur einen verschwindenden Bruchteil der Rinde bedecken und bei der Kleinheit ihrer Krater von einem auf den Mond versetzten Astronomen auch mit dem größten Fernrohr nur mit Mühe oder gar nicht als solche zu erkennen wären - wer weiß, ob solche Mondastronomen von der Existenz von Erdvulkanen überhaupt eine Ahnung hätten! - ist auf dem Monde die Kraterform in allen Größen bis hinauf zu den riesenhaften Dimensionen der Meere nicht nur die häufigste und typischste Oberflächenform, die den Anblick des Mondes auf den ersten Blick kennzeichnet, sondern auch fast die einzige!

Ich verstehe nicht, wie man bei Vergleichung des Mondes mit einem Erdglobus zu einem anderen Schluß kommen kann als dem: Die Formen sind grundverschieden, also wird auch ihre Entstehung verschieden sein. Der Gegensatz ist ja ein so schreiender, daß wohl schon die nächste Generation unsere krampfhaften Versuche, eine Gleichheit festzustellen, belächeln wird.

5. Die bisherigen Darstellungen der Aufsturzhypothese.

Über die Aufsturzhypothese gibt es eine umfangreiche, wenn auch wenig systematische Literatur.

Im Jahre 1828 wurde sie von dem Münchener Astronomen *G r u i t h u i s e n* vertreten, doch finden sich in den Schriften dieses Autors auch andere, phantastische Erklärungen. (*Gruithuisen: Analekten f. Erd- u. Himmelskunde, Bd. 2. München 1929.* - Dagegen finde ich in *K a n t s Allgemeiner Naturgeschichte und Theorie des Himmels*, die bisweilen in diesem Zusammenhang genannt wird, kaum einen Anknüpfungspunkt an die Aufsturzhypothese. Vgl. auch *S. G ü n t h e r*, Die Entstehung der Lehre von der meteoritischen Bildung des Erdkörpers, Sitzungsber. d. bayer. Akad. d. Wissenschaft, math.-phys. Kl., S. 21 ff., 1908.)

Der Geh. Bergrat *A l t h a n s* bemerkte, daß die Einschlagstellen von Artilleriegeschossen auf Panzerplatten gleichfalls kraterähnliche Löcher bildeten und schloß hieraus, daß die Mondoberfläche auch nach der Erstarrung noch imstande gewesen sei, Aufsturzkrater zu bilden. (*Althans: Über Versuche, die eigentümliche Gestalt der Mondoberfläche zu erklären. Gaea 27, 7 ff. (zitiert nach S. Günther.)*) Er soll bald nach 1840 durch Hineinwerfen von Kartätschenkugeln in einen aus Kalkmilch, Zement und Gips bestehenden Mörtelbrei einen künstlichen Aufsturzkrater mit Zentralberg hergestellt haben. (*Archenhold, Zur Entstehung der Mondkrater. Das Weltall 18, 166-171 (1918) -*) Die Entstehung dieses Zentralberges scheint sich *A l t h a n s* durch Zurückschlagen der Welle nach innen gedacht zu haben, eine Vorstellung, die auch bei späteren Vertretern der Aufsturzhypothese häufig wiederkehrt, aber durch die noch zu besprechenden Versuche des Verfassers widerlegt wird. Im Jahre 1839 veröffentlichte *A l t h a n s* eine Studie, in welcher er irdische Ringgebirge, wie Böhmen, gleichfalls durch Aufsturz zu erklären sucht (*Althans: Grundzüge zur gänzlichen Umgestaltung der bisherigen Geologie oder kurze Darstellung der Weltkörper- und Erdrindenbildung, 1839*) - eine Versuchung, der manche Vertreter der Aufsturzhypothese unterlegen sind.

P r o c t o r nahm 1873 für die zahllosen kleineren Krater einen Aufsturz meteoritischer Massen auf die damals noch heiße und plastische Mondoberfläche an. (*R. Proctor: The Moon. London 1873.*)

Der Architekt *M e y d e n b a u e r* erläuterte 1877 die Aufsturzhypothese durch einen Versuch mit Dextrinpulver, auf welches er aus geringer Höhe eine Messerspitze voll gleichen Materials verstreute. Bisweilen zeigten die so erhaltenen kleinen Krater auch Zentralberge, über deren Entstehungsweise *M e y d e n b a u e r* aber keine Ansicht äußert.

Er dachte sich die Mondoberfläche aus staubartigem oder sandartigem Material bestehend und nahm an, daß Zusammenballungen aus gleichem Material darauf gestürzt seien. Die Meere hielt er seltsamerweise für geschmolzene Massen von Schwefel und Phosphor. In einer späteren Abhandlung (1906) machte auch er den gewagten Versuch, die Aufsturzhypothese für die irdische Geologie zu verwerten. (A. Meydenbauer: Über die Bildung der Mondoberfläche, Sirius 10 -N.F.5-, 180 (1877) (enthält nur die Beschreibung des Versuchs ohne Abbildung). - Die Gebilde der Mondoberfläche, ebenda 15 -N.F.10-, 59-64 (1882), mit Tafel. - Kant oder Laplace? Kosmologische Studie, Marburg (Elwert) 1880. - Kohle, Kali und Petroleum, Himmel und Erde, S.390-401 (1906) (enthält auch die Tafel zu seinem Versuch). - Der Versuch M e y d e n b a u e r s ist übrigens später von A h l s d o r f in der Weise abgeändert worden, daß er Lykopodiumpulver verwendete, auf welches er elastische Wurfgeschosse aus Kautschuk oder Wolle unter verschiedenem Winkel aufprallen ließ. (H. A h l s d o r f : Experimentelle Darstellungen von Gebilden der Mondoberfläche, mit besonderer Berücksichtigung der Details. Gaea 1898, S.35 ff.).

Gleichzeitig mit M e y d e n b a u e r und ebenso wie dieser ohne Kenntnis seiner Vorgänger bekannte sich auch der Architekt August T h i e r s c h zur Aufsturzhypothese in einer Schrift, die er gemeinsam mit seinem Vater, dem Theologieprofessor Heinrich T h i e r s c h zunächst 1879 unter dem Pseudonym "Asterios", in zweiter Auflage 1883 aber unter voller Namensnennung herausgab. (Heinrich W.J. Thiersch und August Thiersch: Die Physiognomie des Mondes. Versuch einer Deutung derselben, im Anschluß an die Arbeiten von Mädler, Nasmyth und Carpenter, 42 S. Augsburg 1883.) - T h i e r s c h nimmt an, daß auch das Mare Imbrium durch Aufsturz gebildet ist: "Indem ein herabstürzender Körper von bedeutenden Dimensionen einschlug, erhob sich eine Flutwelle, welche die Mondkruste in weitem Umfange aufbrach und die Trümmer auf den stehengebliebenen Rand des Einbruchs warf." Über die Art der aufstürzenden Massen äußert er sich folgendermaßen: "Wie jetzt noch Saturn, so könnte einst die Erde, in geringerem Maßstab, ihren lunaren Ring von kleinen Begleitern gehabt haben. Im Laufe der Äonen hätte der größte von diesen, eben unser Mond, seine schwächeren Genossen überwältigt und verschlungen." Auch T h i e r s c h unterliegt übrigens, wie G r u i t h u i s e n , A l t h a n s und M e y d e n b a u e r , der Versuchung, die Aufsturzhypothese auch auf die irdische Gebirgsbildung anzuwenden.

Der Geologe G i l b e r t gab 1892 eine sehr lesenswerte Darstellung der Aufsturzhypothese. Die Vulkanhypothese wird sorgfältig geprüft, aber abgelehnt. Die Schmelzerscheinungen der Meere sind durch Wärmeentwicklung beim Aufsturz erzeugt, Furchen durch Ausschleuderungen; die Strahlen werden wohl unrichtig als verspritzte Flüssigkeit betrachtet. Ebenso ist die Erklärung der Zentralberge durch Rückstoß nicht haltbar. Rillen werden als Rindensprengungen durch benachbarte große Aufstürze gedeutet. Auch G i l b e r t meint, der Mond sei aus einem Ring aus einzelnen festen Teilchen entstanden, der ähnlich dem Saturnring früher die Erde umgab. Handelte es sich um Meteoriten, so müßte die Mehrzahl der Krater nicht kreisrund, sondern elliptisch sein. Hierfür werden Rechnungsergebnisse von W o o d w a r d mitgeteilt, die mit G i l b e r t s eigenen Messungen der Elliptizität von 120 Mondkratern verglichen werden.

(G.K. Gilbert: The Moon's Face; a study of the Origin of its Features, Bulletin of the Phil. Soc. of Washington 12, 241-292 (1892.1894); vgl. auch H.J. K l e i n , Jahrb.d.Astron. u.Geophys. 5, 33 ff. Leipzig 1894.) - E. H. L. S c h w a r z nahm an, daß auch auf der Erde zahlreiche Aufstürze eingetreten sind, aber die Aufsturzstellen als solche nicht mehr erkennbar sind. Den Anlaß zu dieser Auffassung gab ihm ein in Südafrika beobachtetes vereinzelter Vorkommen einer Lavamasse (Mandelstein-Melaphyr), die anscheinend ganz von Sediment umgeben ist, so daß eine Spalte oder Röhre, durch die sie aufgestiegen sein könnte, zu fehlen scheint.

S c h w a r z nimmt deshalb an, daß diese Melaphyrmasse und zahlreiche andere ähnliche Vorkommen in früheren geologischen Zeiten durch Aufsturz aus dem Welt-raum entstanden seien, - eine Annahme, die mit Hinblick auf die später zu besprechenden Aufsturzversuche mindestens recht unsicher erscheint.

(E.H.L. Schwarz: The Probability of large Meteorites having fallen upon the Earth. Journ. of Geology 17, 124 ff. -nach S. G ü n t h e r -.)

N. S. S h a l e r hat 1903 G i l b e r t s Annahme weiter ausgebaut, daß beim Aufschlag eine erhebliche Wärmeentwicklung eintreten müsse, so daß die vielerorts erkennbaren Schmelzspuren wenigstens teilweise als Folgeerscheinungen des Aufsturzes selber aufgefaßt werden könnten. Namentlich sei die Verflüssigung des inneren Teiles der Meere so zu erklären. (N.S.Shaler: A Comparison of the Features of the Earth and the Moon. Smiths. Contributions to Knowledge 34, No.1438. Washington 1903 -nach S. G ü n t h e r -)

Etwa zur selben Zeit hat R o m a n e s die Erwärmung beim Aufprall experimentell festgestellt, indem er mit Gewehrkugeln nach einer Bleiplatte schoß und feststellte, daß der Bleirand um die Aufschlagstelle dabei für kurze Zeit in Rotglut versetzt wurde. Den Einwand gegen die Aufsturzhypothese, daß die Erde gleichartige Erscheinungen zeigen müsse, lehnt er, wie auch verschiedene andere Anhänger dieser Hypothese, in unrichtiger Weise mit dem Hinweis auf den Schutz der elastischen Lufthülle ab. Dieser Schutz ist aber nur für kleine Körper wirksam. Körper von der Größe, wie wir sie für die Entstehung der Mondkrater brauchen, würden durch die Erdatmosphäre nicht wesentlich gehemmt werden, wie man leicht einsieht, wenn man sich vergegenwärtigt, daß die Atmosphäre doch nur eine sehr dünne Schicht auf der Erde darstellt. Übrigens beweist ja auch der Meteoritenkrater von Arizona sehr schlagend das Unrichtige in der Betrachtung von R o m a n e s . Die Strahlensysteme hielt R o m a n e s für Staub, doch macht er zur Erklärung der hohen Albedo die unnötige Annahme, er sei kristallinisch. (Nach einem Referat in Tägl.Rundschau v.29.12.1904. Die Originalarbeit ist mir leider nicht bekannt geworden.)

Im Jahre 1907 hat ferner H. M a r t u s , der bekannte Verfasser der "Astronomischen Geographie", eine neue Darstellung der Aufsturzhypothese gegeben.

(H. Martus: Die Gestalten der Ringgebirge des Mondes sind Zeichen seiner Entstehungsweise. Das Weltall 8, 73 -1907/08- . Die Entstehungsweise der Monde der Planeten, Dresden 1909 (besprochen v.C.S c h c y in Gaea 45, 555 ff.)

Er ging, ähnlich wie G i l b e r t , von der Überlegung aus, daß die Mondkrater, wenn durch Aufsturz entstanden, nicht alle kreisrund sein können, wobei er freilich die zweifellos nicht zutreffende Annahme machte, daß der Durchmesser des Mondkraters nur gerade dem des aufstürzenden Körpers entspricht. Er prüfte diese Frage durch Ausmessen zahlreicher Krater nach der Mondkarte von N e i s o n , und kam dabei zu dem erstaunlichen Resultat, daß die Mondkrater nur auf der Mitte der sichtbaren Mondscheibe kreisrund sind, nach dem Rande zu aber immer mehr eiförmig werden, wobei die große Achse stets nach der Mitte der Mondscheibe gerichtet ist. Es liegt natürlich sehr nahe, anzunehmen, daß dies Resultat nur dadurch vorgetäuscht wird, daß auf der N e i s o n -schen Karte die Randkrater nicht mit genügender perspektivischer Verkürzung gezeichnet sind. Für die Gebilde am äußersten Rande gibt M a r t u s diesen Fehler selbst zu und schließt sie deshalb von der Betrachtung aus: "Sie werden gezeichnet sein bei günstiger Libration. Wenn dann, zur Übertragung auf die Karte, bei den weit östlichen oder westlichen der Querdurchmesser der gezeichneten Ellipse nicht ganz genau so weit verkleinert ist, wie er bei der m i t t l e r e n Mondstellung gesehen werden müßte, so wird das Bestimmen der Längen aus der Karte erheblich fehlerhaft..." - Die Ausführungen von M a r t u s können aber meines Erachtens nicht davon überzeugen, daß nicht derselbe systematische Fehler überhaupt der N e i s o n -schen Karte anhaftet, was eine viel einfachere Erklärung des Resultats gäbe, als M a r t u s zu geben vermag.

Die Strahlensysteme deutet M a r t u s ähnlich wie G i l b e r t als durch den Aufsturz verflüssigte und verspritzte Materie, die dann auskristallisierte und das Sonnenlicht an spiegelnden Kristallflächen zurückwirft, was sehr unwahrscheinlich ist, da Lipilli und Lavaströme keine solchen Kristallflächen zeigen und gerade im Gegensatz zu den Strahlensystemen eine geringe Albedo haben.

Der Vulkanologe J o h n s t o n - L a v i s kam 1913 zu dem Resultat, daß die Vulkanhypothese um so unwahrscheinlicher wird, je genauer man die irdischen Vulkane mit den Mondkratern vergleicht, und bekannte sich zur Aufsturzhypothese. Die Strahlensysteme möchte er für Spalten (cracks) halten, worin wir ihm nicht folgen können. (H.J. Johnston-Lavis: Systems of Rays on the Moon's Surface. Nature 92, 631 (1913/14) -

Mit den vorgenannten Arbeiten ist die Literatur über die Aufsturzhypothese keineswegs erschöpft. (Auch S e e soll sich für diese Hypothese ausgesprochen haben. Seine Arbeit darüber ist mir leider bisher nicht zu Gesicht gekommen.) - Eine vollständige Zusammenstellung dürfte wegen ihres zerstreuten Charakters schwierig sein und würde umfangreichere historische Untersuchungen erfordern, als hier beabsichtigt sind.

6. Eigene Versuche zur Aufsturzhypothese.

Aus der vorstehend angeführten Literatur ist die große Unsicherheit ersichtlich, mit der die Vorstellung von dem näheren Vorgang des Aufsturzes noch behaftet ist, und welche die Ursache für die häufigen Mißgriffe und widerstreitenden Ansichten ist. Sie ist zurückzuführen auf den noch fast völligen Mangel an Erfahrungen über die beim Aufsturz eintretenden Vorgänge und die hierbei entstehenden Formen. Die wenigen Versuche, die bisher auf diesem Gebiete gemacht sind, sind ganz unsystematisch und können kaum zur Stütze der Hypothese dienen. Um diesem Mißstande abzuhelpen, habe ich im Winter 1918/19 im Physikalischen Institut zu Marburg eine systematische Versuchsreihe mit Aufsturzkratern gemacht, über deren Ergebnis im folgenden kurz berichtet werden soll. (A. Wegener: Versuche zur Aufsturztheorie der Mondkrater. Nova acta. Abh.d. Leop.-Carol. Deutsch. Acad. d. Naturf. 106, Nr. 2, 107-117. Halle 1920. - Die Aufsturzhypothese der Mondkrater, Sirius 53, 189-194 -1920- .)

Als Material benutzte ich Zementpulver, und zwar sowohl für die Grundmasse als auch für die aufstürzende Masse. Die Verwendung eines solchen, lose kohärenten Pulvers erscheint aus dem Grunde geboten, weil der Aufsturz nur mit Handkraft bewerkstelligt wurde, also die lebendige Kraft des aufstürzenden Körpers gegenüber den Vorgängen auf dem Monde ganz außerordentlich verkleinert wurde. Will man trotzdem ähnliche Resultate erhalten, so muß dann offenbar auch die von dieser lebendigen Kraft bis zur Grenze des Kraters überwundene Molekularkraft der Gesteinsfestigkeit in ähnlichem Maßstabe verkleinert werden, und damit kommen wir auf die geringen Kohäsionsgrade eines solchen Pulvers. Man darf also aus meinen Versuchen nicht etwa schließen, daß die Mondoberfläche aus pulverisiertem Material besteht, sondern das Pulver im Versuch entspricht auf dem Monde festen Gesteinen von der Art irdischer Gesteine. Zement war besonders vorteilhaft, weil sich die erhaltenen Krater dann ohne Formveränderung fixieren ließen, indem man die Oberfläche vorsichtig mit Wasser bestäubte und am nächsten Tage, wenn sie erhärtet war, das Ganze mit Wasser durchtränkte. Beim Wurf der Staubmasse wurde stets ein Eßlöffel benutzt; die meisten Krater wurden mit etwa einem halben Eßlöffel voll Staub geworfen, der größte von 12 cm Durchmesser mit einem hoch gehäuften Eßlöffel. War die Grundmasse allzu fest gedrückt, so entstand kein Krater. War sie aber locker genug, so entstand stets eine kraterartige Vertiefung.

Anfangs erhielt ich auf diese Weise nur Krater ohne Zentralberge; schließlich aber zeigten sich gute Zentralberge in Versuchen, bei denen sich die Grundmasse zufällig in sehr flachen Papierschachteln befand und daher nur 1/2 bis 1 cm dick war. Dies führte dann zu der wichtigen Feststellung, daß stets ein Zentralberg entstand, wenn die Dicke der Grundmasse nicht größer war als etwa 1/10 des Kraterdurchmessers. Da diese dünnen Zementstücke beim Erhärten meist zersprangen, wurde noch zu unterst eine mehrere Zentimeter dicke Schicht Zementpulver gelegt, welche mit Hilfe eines aufgelegten Stückes Papier festgedrückt wurde und sich dann wie eine feste Unterlage verhielt. Darüber wurde dann als eigentliche Grundmasse die lockere Schicht in 1/2 cm Dicke gestreut. Mit einer solchen Grundmasse wurde eine Reihe von Kratern mit Zentralberg erhalten, welche schon auf den ersten Blick große Ähnlichkeit mit den Mondkratern haben.

Um diese Ähnlichkeit aber auch zahlenmäßig zu prüfen, wurde bei 18 solchen Kratern mit Zentralberg das Profil sorgfältig ausgemessen, was zu folgenden Werten (siehe Tabelle) für den Durchmesser d , für die Höhe des Ringwalles w , des Kraterbodens b und des Zentralberges z , bezogen auf das Niveau der äußeren Umgebung, führte (alle Angaben in Millimetern).

Die noch in der Tabelle angegebenen Größen der Kratertiefe $T = w - b$, der Höhe des Zentralberges $h = z - b$, sowie des Verhältnisses der Kratertiefe zur Wallhöhe T/w , des Durchmessers zur Kratertiefe d/T und der Kratertiefe zur Höhe des Zentralberges T/h sind aus den links stehenden Spalten abgeleitet. Die ganze Reihe ist nach der Größe der Krater in zwei Gruppen eingeteilt; in jeder Spalte ist der größte Wert fett gedruckt, der kleinste durch ein "(x)-Zeichen" hervorgehoben.

	d	w	b	z	$w-b$ $= T$	$z-b$ $= h$	T/w	d/T	T/h
	41	4,5	-3,0	1,0	7,5	4,0	1,7	5,5	1,9
	50	4,0	-3,0	0,5	7,0	3,5	1,8	7,1	2,0
	52	2,0	-9,0	-6,8	11,0	2,2	5,5	4,7	5,0
	53	4,5	-3,5	-0,5	8,0	3,0	1,8	6,6	2,7
	53	5,8	-5,2	-2,7	11,0	2,5	1,9	4,8	4,4
	55	3,9	-8,9	-6,9	12,8	2,0(x)	3,3	4,3	6,4
	56	1,3(x)	-5,3	-2,3	6,6(x)	3,0	5,1	8,5	2,2
	58	4,0	-12,0	-9,5(x)	16,0	2,5	4,0	3,6(x)	6,4
	58	7,0	-4,0	-1,0	11,0	3,0	1,6(x)	5,3	3,7
1. Teil-	53	4,1	-6,0	-3,1	10,1	2,9	3,0	5,6	3,9
mittel	61	2,2	-6,3	-2,8	8,5	3,5	3,9	7,2	2,4
	62	3,5	-5,0	-3,0	8,5	2,0(x)	2,4	7,3	4,2
	65	3,0	-5,0	-0,5	8,0	4,5	2,7	8,1	1,8(x)
	68	3,6	-5,9	-1,9	9,5	4,0	2,6	7,2	2,4
	80	9,5	-6,0	-2,2	15,5	3,8	1,6(x)	5,2	4,1
	84	9,5	-9,5	-2,5	19,0	7,0	2,0	4,4	2,7
	97	5,8	-12,2(x)	-3,7	18,0	8,5	3,1	5,4	2,1
	98	6,0	-3,5	0,5	9,5	4,0	1,6(x)	10,3	2,4
	122	9,0	-9,5	-4,0	18,5	5,5	2,1	6,6	3,4
2. Teil-	82	5,8	-7,0	-2,2	12,8	4,8	2,4	6,9	2,8
mittel									
Gesamt-	67	5,0	-6,5	-2,7	11,4	3,8	2,7	6,2	3,3
mittel									

Die Mittelwerte und auch die Zahlen für den vorletzten Krater sind in Gestalt von Profilen in Fig. 1 zur Anschauung gebracht.

Vergleichen wir nun diese Zahlen mit denjenigen, welche H. E b e r t für 92 Mondkrater (davon 33 ohne Zentralberg, 40 mit Zentralberg, der aber nicht gemessen ist, und 19 mit ausgemessenem Zentralberg) zusammengestellt hat).

(H. Ebert: Über die Ringgebirge des Mondes. Sitzungsber. d. physik.-med. Soc. Erlangen 1890, S. 171-191.)

Das Verhältnis des Durchmessers zur Kratertiefe d/T ist im Gesamtmittel unserer Versuchsreihe 6,2, bei den kleineren Kratern von im Mittel 53 mm Durchmesser etwas geringer, nämlich 5,6, bei den größeren von 82 mm Durchmesser etwas größer, nämlich 6,9. Der Wert 7 wird siebenmal überschritten, der Maximalwert beträgt 10,3. Bei den Mondkratern ist 7 der kleinste Wert dieses Verhältnisses, in neun Fällen bleibt er unter 10, der häufigste Wert ist 17. Als größten Wert erreicht dies Verhältnis dort den Betrag 70; so hohe Werte werden aber nur erreicht bei Kratermeeren oder solchen Ringgebirgen, deren Kratertiefe durch Lavaerfüllung verhältnismäßig stark verkleinert worden ist. Diese Gebilde mit Schmelzerscheinungen lassen sich natürlich nicht unmittelbar mit unseren Versuchskratern vergleichen. Diese Sonderstellung der großen Mondkrater ist auch durch die von E b e r t aufgedeckte Gesetzmäßigkeit gekennzeichnet, daß die Kratertiefe sich bei ihnen auf einen konstanten, von der Größe nicht mehr abhängigen Wert von 3,5 km einstellt, welcher offenbar dem isostatischen Höhenunterschied zwischen der festen Mondkruste und dem (ehemals) flüssigen Lavaniveau entspricht, ähnlich wie auf der Erde die Niveaudifferenz zwischen Kontinentalschollen und Tiefseeboden. Mit den kleineren Mondkratern, bei denen eine solche Lavaerfüllung nicht eingetreten ist, harmonisieren unsere Versuche in befriedigender Weise, und insbesondere wächst das Verhältnis d/T auch auf dem Monde mit der Größe der Krater. (E b e r t findet es gleich 10 bei Kratern von weniger als 28 km Durchmesser, gleich 20 für solche zwischen 28 und 90, gleich 32 für solche zwischen 90 und 120, und gleich 40 für solche über 120 km Durchmesser.)

Noch besser wird die Übereinstimmung bei den übrigen Vergleichswerten. Für das Verhältnis der Kratertiefe zur Wallhöhe T/w , welches bei irdischen Vulkanen natürlich stets < 1 ist, ergeben unsere Versuchskrater 2,7, während E b e r t für die Mondkrater 2 bis 3 angibt. Bei uns variieren die Werte zwischen 1,6 und 5,5, auf dem Monde zwischen 1,1 und 4,4.

Weiter ist das Verhältnis der Kratertiefe zur Höhe des Zentralberges T/h in unseren Versuchen gleich 3,3, d.h. der Zentralberg erhebt sich nur bis zum untersten Drittel der Kratertiefe. Für den Mond findet E b e r t dies Verhältnis gleich 2,9. Die Einzelwerte variieren bei uns zwischen 1,8 und 6,4, auf dem Monde zwischen 1,5 und 9,4. In beiden Fällen erreicht aber der Zentralberg niemals die Wallhöhe und überschreitet das Niveau der äußeren Umgebung auf dem Monde in 6 (unter 19), in unseren Versuchen in 3 (unter 18) Fällen, während sein Gipfel im Mittel in beiden Fällen erheblich unter diesem Niveau bleibt. E b e r t s Bemerkung, "der Zentralgipfel endet also nicht immer unter dem mittleren Mondniveau, wie man früher annahm" (vgl. S c h m i d t, Der Mond, S. 60), gilt also in gleicher Weise auch für die Versuchskrater.

Zur richtigen Bewertung dieser fast völligen zahlenmäßigen Übereinstimmungen ist es wichtig, zu bemerken, daß die Versuche ohne Kenntnis der E b e r t - schen Zahlen ausgeführt wurden und letztere erst nach dem endgültigen Abschluß herangezogen wurden. Unter diesen Umständen bilden die Versuche eine starke Stütze für die Ansicht, daß die Mondkrater durch Aufsturz entstanden sind.

Eine Reihe besonderer Versuche bezweckte ferner, Klarheit über den Verbleib der aufstürzenden Masse und über den Bau des Zentralberges zu schaffen. Zu diesem Zweck wurde als aufstürzender Körper Gipspulver benutzt, welches sich von dem grauen Zementpulver der Grundmasse gut abhebt. Bei den so erhaltenen Kratern bedeckte das Gipspulver in einer geschlossenen, gleichmäßig dünnen Schicht das ganze Innere bis zur Kammhöhe des Ringwalles.

Der Ringwall selbst bestand aus dem radial nach außen gedrängten Zement, die Gipsschicht bekleidete nur seinen inneren Abfall und endigte oben in einem Abbruch, welcher andeutete, daß der Ringwall im ersten Entstehen höher war, sein oberster Teil aber nach außen fortgeschleudert war. Dies bestätigten zahlreiche einzelne Gipsbrocken, die an größeren Zementbrocken haftend, noch weit außerhalb des Kraters lagen. Diese Verhältnisse geben die Erklärung dafür, daß bei Aufsturzkratern im allgemeinen der Massenüberschuß des Ringwalles gleich dem Massendefizit des Kraters ist, wie es von S c h r ö t e r bereits für die Mondkrater ermittelt wurde. Die aufstürzende Masse spielt eben wegen ihrer Ausbreitung in dünner Schicht nur eine geringe Rolle und wird ungefähr kompensiert durch die Ausschleuderungen. Je nach dem Überwiegen des einen oder des anderen, was unter anderem von der Aufsturzgeschwindigkeit abhängen wird, kann dann der Überschuß oder das Defizit überwiegen. E b e r t s Ansicht, daß das öftere Vorkommen eines solchen Überwiegens des Defizits ein schwerwiegender Einwurf gegen die Aufsturzhypothese sei, ist deshalb unbegründet. Er fand, daß von den 92 Mondkratern bei 28 der Überschuß und bei 64 das Defizit überwiegt. Ich möchte bezweifeln, daß man hieraus einen anderen Schluß ziehen kann als den, daß ungefähr Überschuß und Defizit einander aufheben, wie es bei der Aufsturzhypothese zu erwarten ist.

Auch über den Bau des Zentralberges konnten die Versuche Aufschluß geben. Beim Durchschneiden einiger Versuchskrater der zuletzt beschriebenen Art zeigte sich, daß die Gipsschicht im Kraterinnern überall von fast gleicher Dicke war, insbesondere war sie auch auf dem Zentralberg nur wenig dicker. Letzterer war also nicht etwa nur aus dem Material des aufstürzenden Körpers gebildet, sondern auch schon aus dem Zement der Grundmasse, und nur mit einer Gipschicht bedeckt. Daß aber nur die lockere Oberschicht der Grundmasse, nicht mehr die untere festgedrückte Zementschicht an seinem Aufbau beteiligt war, zeigten weitere Versuche, bei welchen zwischen diese beiden Schichten der Grundmasse eine Zinnoberschicht eingestreut war. Diese Zinnoberschicht verlief ungestört unter dem Zentralberg. In dem ringförmigen tiefsten Teil des Kraters war aber die lockere Oberschicht ganz beseitigt, so daß hier unmittelbar Gips auf Zinnober lag. Hiernach können wir uns ein deutliches Bild von der Entstehung des Zentralberges machen: Die vertikal herabfallende Masse verliert beim Aufprall ihren bisherigen Zusammenhang; ihre Teilchen erhalten radiale Beschleunigungen und räumen in dem ringförmigen Gebiet der größten Kratertiefe den lockeren Teil der Grundmasse gänzlich fort; der kegelförmige Zentralberg aber besteht aus demjenigen Teil dieser lockeren Schicht, der wegen seiner zentralen Lage keine radiale Beschleunigung, sondern nur eine Zusammenpressung erfährt. Dadurch wird ohne weiteres verständlich, warum der Zentralberg im Mittel sogar noch unter dem Niveau der äußeren Umgebung bleibt; denn er ist herausmodelliert, nicht aufgeschüttet. Damit ist eine wichtige Charakteristik der Mondkrater, die wir in genau gleicher Ausbildung bei unseren Versuchen wiederfanden, erklärt.

Auch die experimentell ermittelte Bedingung für das Zustandekommen eines Zentralberges, nämlich eine festere Unterlage, die mit dem tiefsten Teil des Kraters bereits erreicht wird, ist jetzt ursächlich zu verstehen. Denn wenn eine solche Unterlage fehlt, so wird der zentrale Teil der getroffenen Grundmasse nach unten ausweichen können. Auf dem Monde erklärt sich hierdurch das Fehlen der Zentralberge bei solchen Kratern, bei denen die Kruste durchschlagen wurde, namentlich also bei den Kratermeeren und den Meeren selbst, weil hier keine feste Unterlage vorhanden war. Auch auf den Meeren haben dagegen spätere Krater, die erst nach völliger Erstarrung der Lavamassen gebildet wurden, Zentralberge aufzuweisen.

Die Versuche zeigten auch noch andere Erscheinungen, die als Bestätigungen für die Aufsturzhypothese angesehen werden dürfen. Mitunter entstand, anscheinend durch Teilung der herabstürzenden Masse, nicht ein einfacher Zentralkegel, sondern eine Zentral k e t t e . In diesen Fällen zeigten die Spuren in der Umgebung des Kraters sehr deutlich, daß die Ausschleuderungen senkrecht zur Zentralkette größer waren als in ihrer Streichrichtung, so daß das ganze Gebilde eine bipolare Anordnung nach dem Schema der Fig. 3 erhielt: in Richtung der Zentralkette herrschte die konzentrische Ringwallstruktur vor, senkrecht dazu die radiale Struktur der Ausschleuderungsstrahlen. Bekanntlich ist dieselbe Erscheinung bei dem Mondkrater Kopernikus zu beobachten, wo eine ostwestlich streichende Zentralkette vorhanden ist, und nach Nord und Süd die radiale, nach Ost und West die konzentrische Struktur vorherrscht.

Eine Reihe von Versuchen wurde auch mit zähflüssigem Zementbrei ausgeführt, wobei auch hier gleiches Material für den aufstürzenden Körper verwendet wurde. Unter den erhaltenen Kratern waren einige, die im Aussehen eine besondere Ähnlichkeit mit dem Mondkrater Archimedes besitzen. Der Ringwall war auch hier, wie bei letzterem, doppelt und bestand, wie sich feststellen ließ, im inneren Teil aus dem Material des aufgestürzten Körpers, das in dünner Schicht das ganze Kraterinnere bedeckte und in Gestalt des inneren Ringwalles endete. Der äußere Ringwall dagegen bestand aus dem zur Seite gedrängten Material der Grundmasse. Ausgeschleudert wurde hier nichts. Diese Versuche scheinen die ohnehin naheliegende Vermutung zu bestätigen, daß der Krater Archimedes zu einer Zeit entstand, als das Mare Imbrium noch nicht völlig erstarrt war. Ferner konnten in demselben Material durch sehr schrägen Aufprall birnenförmige Krater erzeugt werden, sowie durch Abspritzen eines Löffels auch Kraterreihen und Furchen, die mit den entsprechenden Gebilden auf der Mondoberfläche große Ähnlichkeit besitzen.

Um die Staubstrahlen der Strahlensysteme nachzuahmen, wurde ein halber Eßlöffel voll Gipspulver auf ein am Boden liegendes Stück schwarzer Pappe herabgeschleudert. Die oft mehr als 2 m weit reichenden Strahlen aus Gipsstaub lagerten sich dann in Form eines den Mondgebilden sehr ähnlichen Strahlensystems ab. Ein Krater konnte hier allerdings nicht entstehen; aber durch die übrigen Versuche mit Staubkratern war ja bereits das Vorkommen starker Ausschleuderungen gleicher Art nachgewiesen.

7. Der Meteoritenkrater in Arizona.

Noch an einer anderen Richtung hin sind in neuerer Zeit unsere Erfahrungen über Aufsturzkrater vermehrt worden, nämlich durch das immer mehr vertiefte Studium eines merkwürdigen kraterförmigen Gebildes im nördlichen Teil von Zentral-Arizona, des sogenannten Coon Butte. Seit der ersten, 1891 erfolgten ausführlichen Beschreibung von A. E. F o o t e hat sich in der amerikanischen Geologie eine ziemlich umfangreiche Literatur über dies Objekt entwickelt, und der Sachverhalt ist namentlich von B a r r i n g e r und G. P. M e r i l l ausführlich dargelegt worden. (A. E. Foote: Am. Journ. of Sc. 1891, p. 413) -

(D. M. Barringer: Meteor Crater in Northern Central Arizona - Referat Am. Journ. of Sc. 1910, p. 427-) - (G. P. Merrill: Quarterly Issue of the Smithsonian Miscellaneous Contributions Vol. I, January 1908, p. 461-498. Vgl. auch Am. Journ. of Sc. 1908, p. 265; 1911, p. 335; 1915, p. 482. - Eine kurze deutsche Beschreibung, in der auch mehrere Photographien reproduziert sind, findet sich in L. Waagen, Unsere Erde, München o. J., S. 55 ff.)

Der Durchmesser des Kraters beträgt 1150 m, die Wallhöhe über der Umgebung 40 bis 50 m, die Kratertiefe 170 m, so daß der ebene Kraterboden 125 m unter dem Niveau der äußeren Umgebung liegt. In Fig. 1 ist das ungefähre Profil dieses Kraters wiedergegeben.

Der teilweise fast vertikale Innenabfall des Ringwalles und die gleich zu beschreibenden Bohrungen zeigten, daß der Boden in der Umgebung des Kraters zu oberst aus einer 50 m dicken Schicht roten Sandsteins, darunter einer 80 m dicken Schicht Kalksteins, und unter dieser wieder einer mindestens 300 m mächtigen Schicht weißen Sandsteins besteht, alle in ungestörter horizontaler Lage. In der Kraterwand dagegen sind diese Schichten aufgestülpt und vom Mittelpunkt nach außen fortgepreßt. Zahlreiche Bruchstücke von Sand- und Kalkstein sind bis zu 6 1/2 km Entfernung ausgeschleudert worden, wobei ihre Größe im allgemeinen mit zunehmender Entfernung abnimmt. Bis 1 km Entfernung findet man noch Blöcke von 20 bis 30 m Dicke. Unter dem herausgeschleuderten Material und auch im Innern des Kraters finden sich auch große Massen von pulverisiertem Sandstein. Dieses "Steinmehl" macht etwa 15 bis 20 Proz. der herausgeschleuderten Massen aus. Im Innern des Kraters findet man auch unbedeutende Spuren von Schmelzung an dem Gestein.

Die Geologen haben naturgemäß gezögert, diesen Krater nicht als vulkanisch, sondern als Aufsturzkrater zu erklären. Aber der Zufall hat es gefügt, daß weit und breit keine Spur von vulkanischen Gesteinen vorkommt und daß auch bei den Bohrungen im Innern des Kraters ein solches nicht erbohrt wurde, vielmehr nach Durchbohrung einer Zertrümmerungszone ungestörter horizontal geschichteter Sandstein angetroffen wurde. Und andererseits sind im Krater und seiner Umgebung bereits seit 1866 zahlreiche Funde von Meteoreisen gemacht worden. Einzelne dieser Eisenstücke wiegen mehr als 500 kg. Neben unregelmäßigen Stücken, die am häufigsten sind, kommen auch schalige Eisenkugeln vor bis zu 20 kg Gewicht, die durch ihre Struktur anzudeuten scheinen, daß es sich hier um geschmolzene Eisentropfen ähnlich den Lapilli handelt. Auch in der durchbohrten Trümmerzone des Kraterbodens fanden sich noch Meteoreisenstücke bis zu 200 m Tiefe. Die Gesamtmenge der bisher gesammelten Meteoreisenstücke beträgt etwa 15000 kg.

Unter diesen Umständen mußte die Annahme vulkanischer Kräfte aufgegeben werden und es besteht heute Einigkeit darüber, daß es sich hier um einen Aufsturzkrater handelt, der von einem großen Eisenmeteoriten oder auch von einem Schwarm solcher Meteoritenstücke erzeugt wurde. Man schätzt den Durchmesser des Meteoriten auf 150 bis 200 m.

Weil man hoffte, in der Tiefe noch eine größere, technisch verwertbare Eisenmasse zu finden, wurden im zentralen Teil des Kraters 28 Bohrungen, einige darunter bis zu 300 m Tiefe ausgeführt. Das Resultat wurde schon erwähnt. Die erhoffte Eisenmasse hat man nicht gefunden, und auch die von einigen Autoren geäußerte Vermutung, daß der Einfall schräg erfolgt sei und die Eisenmasse unter dem südlichen Teil des Ringwalls liege, erscheint wenig wahrscheinlich, da unsere Versuche zeigen, daß die aufstürzende Masse das Bestreben hat, sich oberflächlich auszubreiten. Magnetische Beobachtungen, die zur Entscheidung herangezogen wurden, haben denn auch keinen Anhalt für die Existenz einer solchen größeren Eisenmasse gegeben.

Die Entstehungszeit des Kraters ist nicht mit Sicherheit zu ermitteln, doch scheint das Fehlen größerer Erosionserscheinungen anzudeuten, daß er kaum mehr als einige tausend Jahre alt sein kann. Wie berichtet wird, soll bei den Indianern der Umgegend noch eine sagenhafte Überlieferung von dem Ereignis bestehen.

Die Bedeutung dieser bisher in ihrer Art alleinstehenden Naturerscheinung für das Problem der Mondkrater kann nicht leicht überschätzt werden. Die Leichtigkeit, mit welcher der aufstürzende Meteorit den molekularen Zusammenhang des Kalksteins und des nur wenig lockereren Sandsteins überwand, rechtfertigt unsere früheren Betrachtungen und die Wahl pulverförmigen Materials bei unseren Versuchen.

Daß hier kein Zentralberg entstand, stimmt mit unserer experimentellen Erfahrung; denn der festere Kalkstein wurde noch glatt durchbrochen, darunter aber lag der weiche Sandstein. Es fehlte also die für den Zentralberg notwendige feste Unterlage.

Es ist an sich wenig wahrscheinlich, daß dieser Meteoritenkrater der einzige auf der Erde ist. Namentlich das massenhafte Vorkommen mancher vulkanischer Gläser, wie der Mondawite in gewissen Tertiärschichten Böhmens und Mährens, der Australite in Australien u.a. scheint anzudeuten, daß ähnliche großartige Meteoritenfälle wenigstens in früheren geologischen Zeiten schon wiederholt stattgefunden haben. Es muß wohl dahingestellt bleiben, ob es nicht der Geologie gelingen wird, die vielleicht durch Erosion schon wieder unkenntlich gemachten Aufsturzkrater solcher älteren Fälle zu ermitteln. Die weitgehenden Annahmen, welche von manchen Anhängern der Aufsturzhypothese nach dieser Richtung gemacht worden sind, erscheinen freilich bei dem heutigen Stande unserer Kenntnisse über Gebirgsbildung verfrüht. Wir können aber wohl schwer an der Tatsache vorbeigehen, daß solche Aufstürze auf der Erde eine unvergleichlich geringere Rolle gespielt haben als auf dem Monde, wo sie als praktisch einziger gebirgsbildender Faktor in Erscheinung treten.

8. Zusammenfassung.

Wir sind im vorangehenden auf rein morphologisch-empirischem Wege zu dem Resultat gekommen, daß die typischen Mondkrater sich am besten als Aufsturzkrater deuten lassen. Wir wollen nun die Frage untersuchen, welcher Art die aufstürzenden Körper gewesen sein können, und warum die Erde so viel weniger derartige Spuren trägt. Dazu müssen wir die Aufsturzhypothese, so wie sie sich uns darstellt, noch einmal zusammenfassen.

Nach L a n d e r e r s Messungen (J.J. Landerer:., Sur l'angle de polarisation de la lune, Compt. rend. 109, 360-362 -1889- II. - Sur l'angle de polarisation des roches ignées et sur les premières déductions sélénologiques qui s'y rapportent, ibid. 111, 210-212 -1890- II.) beträgt der Polarisationswinkel der dunklen Meeresflächen $33^{\circ}17' \pm 7'$ und stimmt also am besten mit dem der vulkanischen Gläser Obsidian ($33^{\circ}46'$) und Vitrophyr ($33^{\circ}18'$), und auch mit dem der meteoritischen Moldawite ($33^{\circ}43'$) überein. Wir müssen hieraus den Schluß ziehen, daß die Mondoberfläche im wesentlichen aus einem dunklen vulkanischen Glas besteht in welches die Lichtstrahlen bis zu geringer Tiefe einzudringen vermögen. Die Stellen mit hoher Albedo sind durch Zertrümmerung oder Verwitterung zu erklären, sei es, daß die Trümmer lose übereinander liegen, oder daß sie als klastisches Sedimentgestein sich wieder verfestigt haben. Es ist ja bekannt, wie sehr die Albedo aller glasartigen Gesteine durch Zerkleinerung oder gar Pulverisierung des Materials erhöht wird. Ein Versuch von H. E b e r t mit einem unter verschiedenen Winkeln beleuchteten Glasblock, dessen Oberfläche er teilweise mit Glaspulver bestreut hatte, zeigte die vom Monde bekannte Erscheinung, daß die Albedounterschiede bei senkrechter Bestrahlung außerordentlich groß waren, während sie bei sehr schrägem Strahleneinfall immer mehr verschwanden. (B. Ebert: Beitrag zur Physik der Mondoberfläche, Sitzungsber. d. Bayer. Akad. d. Wissensch., math.-phys. Kl., 38, 150-180 -1908-) Die Strahlensysteme erklären sich daher einfach als zerstäubtes Material, welches beim Aufsturz in Gestalt von Staubstrahlen sich weithin über die Mondoberfläche verbreitet hat. Da sich die Bewegung dieser Staubstrahlen aus Fallbewegung und radialem Fortschreiten zusammensetzt, so wird auf einem ihnen entgegengesetzten Gebirgszug auf dessen Vorderseite abnorm viel, auf der Rückseite abnorm wenig abgelagert. Dies ist sehr deutlich zu erkennen bei dem langen Strahl, der vom Krater Tycho ausgehend, das Mare Serenitatis überquert.

Bevor er auf dessen Fläche übertritt, hat er nämlich den Gebirgszug des Haemus zu überschreiten, und hier sieht man in der Tat auf dem Südabhange dieses Gebirgszuges eine bedeutende Verstärkung des Strahles, während er beim Krater Menelaus auf der Nordseite zuerst ganz ausbleibt und erst in einiger Entfernung vom Haemus auf der dunklen Fläche des Meeres wieder sichtbar wird. Für die erstaunlich große Reichweite dieser Staubstrahlen darf natürlich die starke Krümmung der Mondoberfläche nicht ausser acht gelassen werden, welche bewirkt, daß sich die Tangente zur Mondoberfläche sehr schnell von dieser abhebt, während andererseits die Fallbeschleunigung auf dem Monde nur $\frac{1}{6}$ der irdischen beträgt.

Die Krater mit dunkler Innenfläche, insbesondere also auch die Kratermeere und die umwallten Meere zeigen, daß die feste Kruste hier durchbrochen und das Kraterinnere mit flüssiger Lava erfüllt wurde, die dann erstarrte. Bei den größeren Gebilden dieser Art wird daher, wie E b e r t fand, die Kratertiefe konstant gleich 3,5 km. Die "Adern" scheinen die Grenzen neuer Lavaüberflutungen zu sein. Die nichtumwallten Meere sind Lavaüberschwemmungen, deren Zusammenhang mit Aufstürzen zwar an sich wahrscheinlich, aber nicht mehr unmittelbar ersichtlich ist. Jedenfalls ist die Lava hier teilweise über eine schon vorhandene feste Kruste mit Aufsturzspuren hinübergetreten, wie die von L o e w y und P u i s e u x entdeckten "versunkenen" Krater zu zeigen scheinen. Der Sinus Iridum entstammt einem Aufsturz aus einer Zeit, als die Fläche des Mare Imbrium noch flüssig war; zur Bildungszeit des Archimedes war sie immerhin noch so zähflüssig, daß keine Zerstäubung eintrat; zur Bildungszeit des Aristill war sie dagegen völlig erstarrt, so daß sich ein Zentralberg bildete und Staubstrahlen ausgeschleudert wurden. Das Fehlen der östlichen Umwallung des Mare Imbrium läßt sich entweder durch schrägen Einsturz erklären oder analog dem Sinus Iridum durch zu große Flüssigkeit der dortigen Massen. Im Nordwesten dieses Meeres hat sich, wie schon E. S u e s s erkannte, eine Partie des Ringwalles mit anhaftender Außenscholle losgelöst und sich erheblich in der Richtung auf die Mitte dieses Meeres verschoben. - Wenn man will, kann man diese Schmelzvorgänge als vulkanisch bezeichnen und damit die hier vorgetragene Hypothese der Entstehung der Mondkrater für eine Vereinigung von Vulkan- und Aufsturzhypothese erklären; doch darf dabei nicht vergessen werden, daß - wie weiter unten erläutert werden wird - die hier in Erscheinung tretende hohe Wärme höchstwahrscheinlich durch die Aufstürze selbst erst erzeugt worden ist.

In den zur Zone der Meere polaren Kappen sind keine Spuren von Schmelzung erkennbar. Das Gestein ist hier durch immer neue Aufstürze von Massen mäßiger Größe immer weiter zertrümmert worden und mag eine sedimentartige Struktur besitzen. Die Albedo ist daher sehr hoch. Wir haben also auch auf dem Monde eine zonale Verteilung der Wärme anzunehmen, wobei die Zone größter Wärme der anscheinend ehemaligen Äquatorialzone der Meere (heute um etwa 21° gegen den Mondäquator geneigt) zukam, und die tiefste Temperatur den zugehörigen Polen. Die Sonnenstrahlung, die auf der Erde heute allein die Wärmeverteilung regelt, kann wohl auf dem Monde die genannte Verteilung unterstützt haben. Die riesenhaften Aufsturzspuren des Mare Crisium, Mare Serenitatis und Mare Imbrium scheinen aber anzudeuten, daß die große Wärme dieser Zone auf dem Monde hauptsächlich dadurch verursacht wurde, daß hier soviel größere Massen aufgestürzt sind.

Birnenförmige Krater, wie Censorinus nördlich des Theophilus, sind in der Aufsturzhypothese durch schrägen Aufsturz, Furchen durch streifende Berührung zu erklären, Kraterreihen durch den Aufsturz eines Haufens diskreter fester Körper, der durch die Anziehungskraft des Mondes zuvor in eine Kette verwandelt wurde. Dasselbe gilt auch für Zwillingskrater.

Die von mir schon früher betonte gleichartige Nordost-Südwest-Richtung der Kraterreihen und Furchen zwischen Tycho und dem Mare Tranquillitatis läßt sich erklären durch gleichzeitigen Aufsturz eines ausgedehnten Schwarmes kleiner Körper, wenn nicht etwa G i l b e r t recht hat mit der Vermutung, es seien Ausschleuderungen von der Entstehung des Mare Imbrium. (Nach Gilbert -a.a.O.- ist das Mare Imbrium von einer radialen Furchenstruktur umgeben, die fast die halbe Mondscheibe einnimmt. Teile derselben sind bereits von B e e r und M ä d l e r sowie von N e i s o n beschrieben.) Das Vorkommen echter Vulkane auf dem Monde ganz zu leugnen, liegt kein Grund vor. Der Nachweis ihrer Existenz ist aber bisher noch nicht erbracht. Anzunehmen ist, daß sie relativ seltener und kleiner sind als die irdischen Vulkane. Die Mondrillen sind Risse in der festen Mondkruste, vergleichbar den irdischen Grabenbrüchen, wenngleich bei letzteren die Bruchränder nur selten so unversehrt bleiben, wie es auf dem Monde die Regel ist. Ob sie durch die Volumenvermehrung bei großen Austürzen oder bei der schnellen Abkühlung durch Ausstrahlung entstanden sind, bleibt dahingestellt.

Wir kommen nun zu der Frage, welcher Art die aufstürzenden Körper gewesen sein können. Die Beantwortung dieser Frage muß zugleich Auskunft geben über die andere, warum die Erde so unvergleichlich geringere Aufsturzspuren trägt.

Wir müssen uns darüber klar sein, daß wir mit diesen Fragen über die Grenzen der engeren Aufsturzhypothese hinausgreifen. Man könnte sehr wohl die Ansicht begründen, daß wir aus rein morphologischen Gründen die Aufsturzhypothese auch dann anzunehmen haben, wenn es uns heute noch nicht möglich ist, etwas über die Natur der aufgestürzten Körper auszusagen. Und jedenfalls müssen wir eins betonen: auch wenn sich unsere Überlegungen über die letztere Frage als unzutreffend herausstellen sollten, so wird dadurch die Wahrscheinlichkeit der Aufsturzhypothese nur unwesentlich beeinflußt. Denn die Beweisführung für sie ist eben nicht spekulativer Art, sondern gründet sich auf empirische Morphologie.

Die Mondoberfläche selbst gibt uns indessen einige bestimmte Fingerzeige auch für die Frage nach der Natur der Aufsturzkörper, an denen wir nicht vorbeigehen können.

Die Beschränkung der größten Aufsturzspuren auf die vermutlich ehemals äquatoriale Zone der Meere scheint anzudeuten, daß die Bahnen der aufstürzenden Körper nicht regellos angeordnet waren, sondern vorwiegend in einer Hauptebene lagen. Es liegt nahe, anzunehmen, daß diese Hauptebene mit der Ekliptik identisch war und die aufstürzenden Körper demnach unserem Sonnensystem angehörten. Damit scheidet die Meteoritenhypothese aus, denn die Meteoriten haben nach unserer heutigen Kenntnis hyperbolische Bahnen, gehören also nicht zum Sonnensystem, sondern scheinen eher den Fixsternströmen anzugehören. Eine für den Aufsturzprozeß selber wichtige Folgerung hieraus ist, daß die Aufsturzgeschwindigkeit dann nur wenige Kilometer pro Sekunde betragen haben kann, da man für die Bahnen der Aufsturzkörper keine allzu große Exzentrizität wird annehmen dürfen. Für die Erklärung der Kraterformen bietet diese relativ geringe Geschwindigkeit eine Erleichterung, wie schon G i l b e r t betonte. Denn je kleiner sie ist, um so mehr tritt die Fallbeschleunigung durch die Mondanziehung selber in den Vordergrund, und um so mehr wird sich die Aufsturzrichtung der Vertikalen zur Mondoberfläche nähern. Wir erhalten so eine Erklärung für das sehr starke Vorwiegen des symmetrischen kreisförmigen Baues der Mondkrater.

Zweitens ist unmittelbar ersichtlich, daß in der Zone der größten Aufstürze auch die höchste Wärme geherrscht hat, und daß diese Wärme dann in der Zeit der letzten Kraterbildungen durch Ausstrahlung in den Weltraum verloren gegangen ist. Diese Verhältnisse legen die Annahme G i l b e r t s sehr nahe, daß die Wärme selbst erst durch die Aufstürze entstanden ist, daß folglich vor der Entstehung der jetzt sichtbaren Aufsturzspuren noch viel zahlreichere und schneller aufeinander folgende, wohl auch größere Aufstürze vorangegangen sind, durch welche die hohe Eigentemperatur des Mondes entstanden ist, während sie in der Epoche der Bildung der jetzigen Mondkrater bereits wieder abnahm.

Was wir auf dem Monde sehen, sind also nur die Spuren des Abklingens eines Prozesses, der in früherer Zeit noch in viel größerem Ausmaß und größerer Schnelligkeit vor sich ging. Nun sind aber diese letzten Spuren bereits von einer Größe, daß wir annehmen müssen, daß die Mondmasse durch sie bereits merklich vergrößert worden ist. Daher werden wir zu dem Schluß gedrängt, daß es sich bei diesem ganzen Prozeß um die Mondbildung selbst handelt, daß also der Mond durch den Zusammensturz einer großen Anzahl diskreter fester Körper entstanden ist, die in nahe beieinander liegenden Bahnen die Sonne umkreist haben. (Auch die jetzige Mondbahn kann als eine Bahn um die Sonne angesehen werden. Sie wird niemals gegen letztere konvex.) Dieser Sammlungsprozeß wird naturgemäß langsam begonnen haben, dann eine gewisse Kulminationszeit durchgemacht haben, als nämlich die Zahl der verfügbaren Körper noch immer sehr groß war, aber die eigene Gravitation des wachsenden Mondes sie immer schneller an sich zog, und später muß durch Verbrauch der vorhandenen Einzelkörper ein immer langsames Abklingen dieses Prozesses erfolgt sein. Zur Kulminationszeit folgten die Aufstürze so schnell aufeinander, daß die beim Aufsturz erzeugte Wärme nicht im gleichen Tempo wieder in den Weltraum ausgestrahlt werden konnte, und die Temperatur des Mondkörpers stieg - jedenfalls in der Hauptzone der Aufstürze, vielleicht auch überall - über den Schmelzpunkt des Gesteins. Aber schon in der letzten Phase des Aufsturzprozesses überwog der Verlust durch Ausstrahlung so weit, daß die letzten Aufstürze auch die Meere bereits völlig erstarrt vorfanden.

Wir können uns also noch auf Erfahrungsstatsachen stützen bei der Annahme, daß die aufstürzenden Körper dem Sonnensystem angehörten und daß es sich bei dem ganzen Aufsturzphänomen um die Mondbildung handelt. Zu weiteren Schlüssen sehe ich allerdings keinen Anhaltspunkt mehr. Es könnte wohl sein, daß die Teile vor ihrer Vereinigung einen Ring um die Erde bildeten, ähnlich dem Saturnring. Dann wäre man auf bequemste Weise der Frage ledig, warum die Erde nicht in gleichem Maße mit Aufsturzspuren bedeckt ist. Es könnte aber ebensogut sein, daß diese Teile selbständige, nicht weit von der Erdbahn abweichende Bahnen um die Sonne beschrieben. Denn auch die Erde könnte auf gleiche Weise entstanden gedacht werden; das Material der Erde und des Mondes hätte dann einen einzigen Ring um die Sonne gebildet, ähnlich dem Ring der kleinen Planeten, nur mit viel dichterem Massenerfüllung. Bei der nun eintretenden Sammlung hätten sich dann statt eines Planeten zwei gebildet, deren kleinerer sodann von dem größeren eingefangen worden wäre. Damit würde man der von manchen Astronomen erhobenen Forderung gerecht, auch den Erdmond wie die Monde der anderen Planeten als eingefangen zu betrachten. Bei der viel größeren und noch dazu durch eine Atmosphäre gegen Ausstrahlung geschützten Erde mußten die Aufstürze eine weit höhere Temperatur erzeugen, die sich viel länger hielt, so daß hier auch das Abklingen des Aufsturzprozesses noch in die glutflüssige Phase der Erdentwicklung fiel und keine Spuren mehr hinterlassen konnte. - Über diese Vermutungen schon jetzt eine Entscheidung treffen zu wollen, wäre wohl verfrüht. Wichtig ist nur, daß sich das fast völlige Fehlen großer Aufsturzkrater auf der Erde in keinem Falle als Argument gegen die Aufsturzhypothese der Mondkrater verwenden läßt.

● ● ● ● ● ● ● ● ● ●