
WILHELM FOERSTER STERNWARTE ^{5.} MIT ZEISS-PLANETARIUM BERLIN

BERLIN 41 • Munsterdamm 90 • Insulaner • Ruf 7962029

Protokoll

der

257. Sitzung der

Gruppe Berliner Mondbeobachter

1982 Januar 11

Beginn: 20 Uhr

Es sind erschienen die Damen Rassl, Sävecke, sowie die Herren Freitag, Freydank, Giebler, D. Hartmann, Jahn, Jarnack, Kowalec, Kunert, Leder, Liebold, Linke, Mackowiak, J. Meyer, W. Meyer, Neye, Raimann, Reinsch, Schallack, G. Scheibner, J. Scheibner, Schöntag, Sydow, Völker, Wiedebach, Wunde, Wörner.

Herr Kunert eröffnet die Sitzung um 20.05 Uhr. Die Versammelten sind noch alle begeistert von den sehr guten Beobachtungsbedingungen bei der Mondfinsternis am 09. Januar 1982. Er übergibt Herrn Maiwald das Wort, um einige der ersten Aufnahmen zu zeigen. Die Beobachter waren an der Sternwarte durch den unerwartet großen Besucherstrom verständlicherweise behindert. Eine Tatsache, mit der eine Volkssternwarte zu leben hat. Dann erhält Herr Detlev Hartmann das Wort zu seinem Bericht:

Herr Hartmann zeigte eine Dia-Serie der totalen Mondfinsternis vom 09. Januar 1982. Die Aufnahmen wurden im Fokus eines 256-mm-Newton, Brennweite 1746 mm, Öffnungsverhältnis 1:7, auf Kodak Ektachrome 400 Diafilm erhalten. Der Film wurde normal auf 27 DIN entwickelt.

Es wurden während des Ein/Austritts des Mondes in/aus dem Kernschatten ungefähr alle 10 Minuten jeweils 3 Dias mit verschiedenen Belichtungszeiten belichtet. Als Anhaltswerte für die Belichtungszeiten dienten die Finsternisse vom 16.09.78 und 13.03.79. Die Durchsicht der Luft war recht gut, so daß von den je 3 Aufnahmen die jeweils am kürzesten belichtete richtig war. Der Film reagierte sehr empfindlich auf die Überbelichtungen.

Die genauen Zeitpunkte und richtigen Belichtungszeiten waren:

Beim Eintritt in den Kernschatten:	19.30 MEZ	1/250 sec.
	19.41 MEZ	1/250 sec.
	19.52 MEZ	1/125 sec.
	20.05 MEZ	1/60 sec.

Beim Austritt aus dem Kernschatten:	21.45 MEZ	1/30 sec.
	21.59 MEZ	1/125 sec.
	22.13 MEZ	1/250 sec.
	22.26 MEZ	1/500 sec.
	22.33 MEZ	1/500 sec.
	22.38 MEZ	1/500 sec.

Man erkennt deutlich, daß die Belichtungszeit um so länger werden muß, je mehr der Mond sich dem Kernschatten nähert. Der eingebaute Belichtungsmesser der Spiegelreflexkamera zeigte übrigens stets zu kurze Belichtungszeiten an. Kurz nach dem vollständigen Eintritt des Mondes in den Kernschatten wurden 2 Aufnahmen belichtet (20.20 MEZ mit 5 sec., 20.21 MEZ mit 10 sec.), auf denen deutlich zu erkennen ist, daß der dem Rand des Kernschattens zugewandte Südteil des Mondes wesentlich heller war als der weiter zur Mitte des Kernschattens weisende. Zum Zeitpunkt der größten Phase wurde eine Serie mit stets verdoppelter Belichtungszeit hergestellt.

Da sich der Mond bei der Brennweite von 1746 mm schon während einer Belichtungszeit von 10 Sekunden deutlich gegenüber den Fixsternen verschiebt, wurde am Frequenzwandler die Geschwindigkeit des Mondes eingestellt. Diese Maßnahme zeigte schöne Auswirkungen: Der Mond blieb scharf und die Sterne im Hintergrund erschienen als Strichspuren. Die Belichtungszeiten (20.55 MEZ - 21.00 MEZ) waren: 5, 10, 20, 45 und 90 Sekunden. Schon die 5 Sekunden reichten aus, um ein gut durchgezeichnetes Mondbild zu erhalten. Mit längeren Belichtungszeiten wurde der Mond natürlich immer heller, es wurden jedoch auch wesentlich mehr Sterne sichtbar. Auf der am längsten belichteten Aufnahme (90 sec.) sind ca. 100 Strichspuren sichtbar. Bei allen Totalitätsaufnahmen ist deutlich ein sehr inhomogener Verlauf des Kernschattens erkennbar. Die südliche Hemisphäre des Mondes war wesentlich heller als die nördliche, ein Zeichen dafür, daß unsere Erdatmosphäre zur Zeit der Finsternis recht sauber war. Eine ähnliche Beobachtung konnte man auch bei der Finsternis vom 16.09.78 machen, deren Helligkeit auch mit der diesjährigen übereinstimmte.

Herr K u n e r t dankt unter dem Beifall der Versammelten den Referenten. Anschließend berichtet Herr F r e y d a n k über die visuelle Beobachtung der "totalen Mondfinsternis" vom 9. Januar 1982.

Herr F r e i t a g und Herr F r e y d a n k hatten bei der letzten Sitzung der "Berliner Mondbeobachter" vorgeschlagen, diese Finsternis gemeinsam auf der Sternwarte zu beobachten. Als Beobachtungsprogramm sollte das "Berliner System", wie bereits besprochen, benutzt werden. Die Vorbereitungsarbeiten dafür wurden ebenfalls von uns durchgeführt.

Das Wetter war ja nun ausgezeichnet, nur etwas kalt. Immerhin sank die Temperatur bis $-15,1^{\circ}\text{C}$ während des Beobachtungszeitraumes, der rd. 4 Stunden betrug. Fünf Amateurastronomen beteiligten sich am Beobachtungsprogramm, und zwar Frl. J ä g e r und die Herren von B l a n c k e n b u r g , B l u m e n t h a l , F r e y d a n k , N e y e . Zur Beobachtung standen drei 4" Refraktoren zur Verfügung. Vergrößerung 60-fach. Ein Instrument ist durch Frosteinwirkung während der Beobachtung ausgefallen. Erhalten wurden nun 3 Meßreihen mit 36 Schatteneintritten und 2 Meßreihen mit 29 Schattenausgängen. Die Schatteneintritte erfolgten bis zu 1,4 Minuten früher und die Schattenausgänge bis zu 1,7 Minuten später als berechnet. Der Grund für diese Differenzen war die zu erwartende Vergrößerung des Kernschattens der Erde durch atmosphärische Einflüsse.

Außerdem kommt noch eine Meßreihe mit je 16 Schatteneintritten bzw. Schattenausgängen hinzu.

Diese wurde von Herrn Schumann außerhalb der Sternwarte in Berlin 61 beobachtet, und zwar an einem 8" Celestron. Vergrößerung: 81-fach. Die erste Auswertung des Materials hat Frau Erika F r e y d a n k übernommen.

Außerdem wurde nach der Skala des französischen Astronomen A. Danjon die Dunkelheit und Farbe des Kernschattens geschätzt. Daran nahmen 7 Beobachter teil. Es waren die Herrn v o n B l a n c k e n b u r g , B l u m e n t h a l , F r e i - t a g , F r e y d a n k , N e y e , R e i n s c h , W a l t h e r .

Bei dieser 5-stufigen Skala (0 bis 4) ergab sich bei allen Beobachtern die Stufe 3.

Die Stufe 3 besagt: Ziegelrote Finsternis. Der Kernschatten ist häufig mit einem hellen oder gelblichen Rand umsäumt.

Auch er erhielt den Beifall der Versammelten. Dann erteilt Herr K u n e r t Herrn M a c k o w i a k das Wort, der folgendes ausführt:

"Besprechung und Kommentar der beiden Dia-Serien "Evolution of the Moon" und Weltraumstation"

Die Serie "Evolution of the Moon, besteht aus 14 Farbdias, die von Don E. Wilhelm und Don Davis sowie dem U.S. Geological Survey geschaffen wurden und vom Hansen Planetarium, Salt Lake City, herausgegeben werden. In der Bundesrepublik Deutschland sind die Lichtbilder beim Treugesell Verlag unter der Bestellnummer 730 028 erhältlich. Preis: 24.78 DM.

In der Entwicklungsgeschichte des Mondes lassen sich sechs Hauptphasen unterscheiden:

1. die Formierung als Kugel
2. die Trennung einer Kruste
3. der frühe Vulkanismus durch innere Aufschmelzung
4. der spätere Einsturz einiger oder weiterer Körper, entweder Planetoiden oder ursprünglich kleinerer Erdtrabanten
5. die partielle Aufschmelzung der noch tiefer liegenden Schichten des oberen Mantels und später Vulkanismus
6. die heutige relative Ruhephase

Die Dias zeigen folgende Ereignisse aus der Entwicklungsgeschichte des Mondes:

Der Mond, wie wir ihn heute sehen mit seinen Hochländern, Kratern und Maren, ist das Produkt einer Entwicklung, die vor etwa 4,6 Mrd. Jahren mit der Akkretisierung des Erdtrabanten begann und vor etwa 3 Mrd. Jahren endete. Auch alle anderen Planeten und ihre Monde entstanden zu diesem Zeitpunkt. Kurz danach verflüssigte sich die äußere Schicht des Erdtrabanten bis zu einer Tiefe von einigen hundert Kilometern. Unter der Voraussetzung, daß der Mond durch Zusammenballung entstanden ist, geschah dies wahrscheinlich durch Umwandlung von Einschlagenergie in Wärme. Als die Oberfläche sich abkühlte, bildete sich eine Kruste. An manchen Stellen schmolz die Mondoberfläche erneut, und es kam zur Bildung jener seltsamen Gesteinsart, die von den Wissenschaftlern den Namen KREEP (Kalium Rare Earth Elements) erhielt (EM 3 Der Mond heute).

Während die Mondoberfläche langsam abkühlte, wurde sie unentwegt mit Meteoriten bombardiert, und bald war die Kruste mit Einschlagkratern übersät (EM 4 vor dem Imbrium-Einschlag vor 4 Mrd. Jahren).

Vor 4,2 bis 3,3 Mrd. Jahren fing die Schwerkraft des Mondes dann auch einige größere Himmelskörper ein. So entstand beispielsweise das durch die erste Mondlandung berühmt gewordene Mare Tranquillitatis. Das größte Ringgebirge auf der

erdzugewandten Seite des Mondes ist allerdings das Mare Imbrium, dessen Entstehung die meisten Bilder der Dia-Serie exemplarisch für die anderen Großformen auf der Mondoberfläche zeigen.

Vor 3,8 Mrd. Jahren schlug ein Asteroid, dessen Durchmesser auf 70 km und mehr geschätzt wird, auf die Mondoberfläche. Berechnungen zeigten, daß der Einschlag, der einen Krater von 1300 km Durchmesser erzeugte, fast ausgereicht hätte, einen Körper von der Größe des Mondes (3476 km Durchmesser) auseinanderzubrechen. Aus diesem Grund muß die Bildung des Imbrium-Beckens weitreichende Folgen auf die Oberfläche und das Innere des Mondes gehabt haben. Diese Wirkungen sind an der Oberfläche als ein radiales und konzentrisches Muster von Bruchlinien zu sehen, das sich fast über den ganzen Mond erstreckt. Fast ein Drittel der Mondrillen sind entweder konzentrisch oder radial zum Mare Imbrium (EM 5 Asteroideneinschlag vor 3,85 bis 4 Mrd. Jahren).

Auch unter der Mondoberfläche muß der Imbrium-Einschlag verheerende Auswirkungen gehabt haben, denn der in der Aushöhlungsphase erzeugte Urkrater, die die Dias EM 6 bis EM 9 zeigen, war wahrscheinlich ein paar Hundert Kilometer tief, ehe sich der Boden hob und sich die inneren Ringe bildeten. Der Mond muß bis in eine beträchtliche Tiefe aufgebrochen sein, und die spätere vulkanische Aktivität wird das Magma entlang der Brüche zur Oberfläche transportiert und dort als Lava ausgeworfen haben. Die Bilder zeigen sehr deutlich, was nach dem Einschlag des Meteoriten in der Umgebung passierte:

Nachdem der einschlagende Körper die Mondoberfläche erreicht hatte, drückte er sie nach unten zusammen, so daß eine gewaltige Stoßwelle entstand und für kurze Zeit geschmolzenes Gestein zwischen dem Einschlagkörper und der Oberfläche mit so hoher Geschwindigkeit herausspritzte, daß es die Gravitation des Mondes überwinden und in den Weltraum entweichen konnte. Der Einschlagkörper drang dann tiefer, zertrümmerte die Oberfläche und schuf eine schüsselförmige Vertiefung, die den entstehenden Krater abgrenzte. Seine Aushöhlung wurde durch Stoßwellen erzeugt, die die Oberfläche zuerst nach unten und dann nach außen drückten (EM 7 Ausdehnung des Imbrium-Kraters / EM 8 Der Imbrium-Krater 1600 km im Durchmesser).

Die nun ausgeworfenen Gesteinsmassen hatten eine niedrigere Geschwindigkeit und fielen wieder zur Mondoberfläche zurück und erzeugten die sogenannten Sekundärkrater (EM 9 Ejecta bedecken ältere Krater), die die älteren Krater bedeckten. Innerhalb des 1600 km durchmessenden Kraters hatten sich nun drei konzentrische Bergringe gebildet, die anzeigten, wo die Gezeitenwellen ihren Impuls verloren hatten.

In den letzten Phasen des lunaren Bombardements begannen sich wieder neue Krater zu bilden, während die bestehenden Bergketten erodierten. Nach dem endgültigen Abschluß des Planetoidenbombardements zeigte der Riesen-Krater eine starke Erosion, während die Bergketten in ihm bis zur Unkenntlichkeit abgeschliffen worden waren. Dieser Zustand blieb bis heute so bestehen.

Vor 3,8 Mrd. Jahren begann sich als Folge des Zerfalls radioaktiver Elemente Hitze unter der Mondkruste zu bilden, die die Felsen in Lava umschmolz. Die Dias EM 1 (der Mond vor 3,8 Mrd. Jahren im Überblick zu Beginn des Imbrium-Flusses) und EM 11 (die Lava quillt hervor) zeigen sehr anschaulich diesen Prozeß. Die Lava quoll aus den tiefsten Senkungen und Kratern herauf und füllte das Becken. Der Mond wird sich einem Betrachter von der Erde aus so dargeboten haben, wie es das Dia EM 2 versucht zu veranschaulichen. Manchmal schuf die vulkanische Tätigkeit nur kleine örtliche Merkmale, so zum Beispiel die seltsamen kuppelförmigen Erhebungen im Gebiet der Marius-Hügel. Zu anderen Zeiten entstanden langsam über die Oberfläche dahinkriechende Lavaströme. Es konnte auch vereinzelt geschehen, daß ein Lavateich durch eine sublunare

Abzug entleert wurde. Dieser stürzte im Laufe der Zeit ein und schuf so einen jener Gräben oder Schluchten der Mondoberfläche.

Vor 2,5 bis 3 Mrd. Jahren wurden dann die Vertiefungen aufgefüllt, wie es die Bilder EM 12 (die Lavaüberflutung ist fast beendet), EM 13 (abschließende Lavaflut) und EM 14 (charakteristische nachfolgende Kraterbildung) zeigen.

Weiterhin prallten aber Felsen auf die Mondoberfläche auf - allerdings keine Planetenfragmente mehr -, die dann unter anderem die Krater Kopernikus und Kepler schufen, wie in EM 14 dargestellt. Damit erreichte die Entwicklungsgeschichte des Mondes einen vorläufigen Abschluß.

Die Serie stellt sehr anschaulich die Entwicklungsgeschichte des Mondes dar. Nur hätte sich der Treugesell-Verlag die Mühe machen sollen, wie er es auch bei anderen anglo-amerikanischen Dia-Serien mit Erfolg getan hat; eine deutsche Übersetzung beizufügen. Vielleicht gibt dieses Mondprotokoll potentiellen Käufern und Benutzern dieser Serie eine kleine Hilfestellung.

In der Dia-Serie "Weltraumstation", deren englischer Titel "Space Colony" lautet und deren wörtliche Übersetzung "Weltraumkolonie" den Inhalt der zwanzig Farbdias viel besser getroffen hätte, geht es um die Besiedlung des Weltraums, und zwar so, wie sie sich Künstler unter Aufsicht der NASA, Boeing und Rockwell International in Zukunft vorstellen. Diese Serie ist unter der Bestellnummer 730 028 zum Preis von 30,97 DM ebenfalls beim Treugesell-Verlag erhältlich. Der mitgelieferte deutsche Kommentar ist so ausgezeichnet, daß ich ihn meiner Kurzbesprechung zugrunde lege: Grundlegendes Transportmittel für die Besiedlung des Weltraums ist der Space Shuttle, der ja bereits schon zwei Testflüge hinter sich hat (HPSC 1). Er hat die Größe einer DC-9 und kann ca. 65 Tonnen Nutzlast tragen. Als erstes soll dann eine Station im Weltraum errichtet werden, von der aus der Bau der großen Weltraumstation überwacht werden soll. Diese Station als "Bauhütte" bezeichnet, dreht sich um ihre zentrale Achse und bietet in ihren vier zylindrischen Behältern 20 bis 200 Bewohnern die notwendige Schwerkraft (HPSC 2).

Die große Weltraumkolonie sieht dann wie ein Rad aus. Sie hat einen Durchmesser von mehr als 1,5 km und eine lichte Weite von etwa 200 m. Ihr Inneres ist mit irdischen Landschaften ausgestattet mit Sichtweiten bis knapp 1 km. Es gibt dort Sonnenlicht, Blumen, Bäume und Tiere. Je nach Größe kann sie 10 000 bis 1 Mio. Bewohner aufnehmen. Hergestellt wird sie aus Mondmaterial, das in Bergwerken auf unserem Erdtrabanten gewonnen und mit Hilfe magnetischer Felder zu den Librationspunkten transportiert wurde, wo sich die Weltraumkolonie(n) befindet. Die Bilder HPSC 3 bis 17 zeigen sehr anschaulich den Bau, das Aussehen und das Innere einer solchen Kolonie.

Die benötigte Energie wird von Sonnenenergiesatelliten geliefert, die auch irdische Städte mit dem notwendigen Strom in Form von Mikrowellen versorgen (HPSC 18 bis 20). Das Konzept der Weltraumkolonisierung geht im wesentlichen auf Dr.G.K. O'Neill von der Princeton-Universität zurück, der es in den Jahren 1974/75 mit Studenten unter dem Patronat der NASA erstellte. Seine wesentlichsten Ideen kann man in folgenden Büchern ausführlich nachlesen:

- 1) Dr. G. K. O'Neill "Unsere Zukunft im Raum", Treugesell-Verlag, Bestellnummer 700 253, Preis 29,80 DM
- 2) T.A. Heppenheimer "Eine Arche auf dem Sternenmeer", Schweizer Verlagshaus, Zürich 1980, Preis 38.-- DM

Herr K u n e r t dankt dem Referenten für seine interessanten Ausführungen und die große Mühe bei der Vorbereitung.

Die Sitzung endet um 21.15

Die nächste Sitzung der GRUPPE BERLINER MONDBEOBACHTER findet am

M o n t a g , d. 08. Februar 1982, 20 Uhr

im Zeiss-Planetarium (am Fuße des Insulaners) statt.

gez. F r e i t a g , F r e y d a n k , Detlev H a r t m a n n , K u n e r t ,
M a c k o w i a k , M a i w a l d

II. Planetengeologie: Mond und Merkur

Betrachtet man den Mond mit bloßem Auge, so kann man helle und dunkle Gebiete auf seiner Oberfläche sehen, die besonders gut bei Vollmond zum Vorschein kommen. Die dunklen Stellen werden als "Maria" = "Meere" bezeichnet, da man früher glaubte, es hier mit ausgedehnten Wasserflächen zu tun zu haben, was sich natürlich bald als Irrtum herausstellte. Seit der Einführung des Fernrohrs in die Astronomie wissen wir, daß wir es beim Mond mit einem leblosen Himmelskörper zu tun haben. Und seit Beginn der Fernrohrbeobachtungen vor etwa 400 Jahren wurde niemals eine dauernde Veränderung an seiner Oberfläche beobachtet.

Es lassen sich verschiedene Arten von Formationen auf der Oberfläche unseres Trabanten unterscheiden: Gebirgsketten, wie die Apenninen, und auch isolierte Berggipfel, niedrige Hügel und Rücken ebenso wie die weiten Maria. Die auffälligsten und wohl am zahlreichsten vertretenen Formen sind die Krater, die in verschiedenen Größen auf der ganzen Mondoberfläche zu finden sind. Die frühere Annahme sah in ihnen Objekte vulkanischen Ursprungs, da bis ins vorige Jahrhundert auf der Erde nur Vulkan-krater bekannt waren. Allerdings bemerkte bereits 1665 der Engländer Robert Hooke die Ähnlichkeit zwischen Mondkratern und Kratern, die durch Einschläge schwerer Körper in weichem Ton entstehen. Als dann Anfang des 19. Jhds Meteoriteneinschläge bekannt wurden, vermuteten Gruithuisen und später Gilbert, daß die Mondkrater Einschlagkrater sein könnten, die durch Zusammenstoß sehr großer Meteoriten mit dem Mond gebildet worden sind. Dies war der Beginn der großen Kontroverse über den Ursprung der Mondkrater, die erst mit der Landung der Apollo-Astronauten beendet wurde. Heute stimmt man darin überein, daß beide Typen von Kratern auf dem Mond vorkommen, aber die Einschlagkrater die weitaus häufigsten sind.

In den hellen Gebieten des Mondes befinden sich Hunderte von Kratern. Diese Gebiete werden als Hochländer bezeichnet und sind älter als die tiefliegende Maria. In den frühen sechziger Jahren stellten die Amerikaner Shoemaker und Hackman als erste Altersbeziehungen zwischen den verschiedenen Mondformationen auf. Das Ergebnis ihrer Untersuchungen war eine lunare Formationstafel, die sich in vier Zeitabschnitte gliedert: Kopernikus, Eratosthenes, Imbrium, Prä-Imbrium. Sie bilden die vier geologischen Hauptperioden des Mondes. Später ersetzte man dann Prä-Imbrium durch Nectarium und Prä-Nectarium.

Die vorherrschende Formation auf dem Mond sind die Einschlagkrater. Sie sind annähernd kreisförmig, was sie von vielen vulkanischen Kratern unterscheidet, die oft eine längliche Form haben, da sie nur selten Material von einer einzigen Quelle ausschleudern. Ein Einschlagkrater wird von einem sanft abfallenden, hügligen Wall umgeben, der weiter außen in annähernd radiale, unregelmäßige Rücken übergeht. Diese Anhäufungen von Material außerhalb des Kraters sind Auswürfe aus dem Innern. Am stärksten sind sie in Kraternähe, während sie nach außen immer dünner werden. Noch weiter außen fallen die Sekundärkrater auf, die durch den Einschlag von Klumpen oder Blöcken von aus dem Hauptkrater geschleuderten Material entstanden sind. Ihre Form ist ziemlich unregelmäßig, und oft bilden sie Haufen oder Ketten ähnlich wie die vulkanischen Krater.

Der Mechanismus der Bildung der Einschlagkrater wurde in den letzten Jahren aufgeklärt, und zwar durch die in kleinem Maßstab durchgeführten Hochgeschwindigkeitseinschlagexperimente von Gault u.a. sowie geologischen Untersuchungen von Einschlagkratern auf der Erde. Die Abfolge der Ereignisse muß man sich etwa so vorstellen: Der einschlagende Körper (Geschwindigkeit wahrscheinlich 20 km/sec) erreicht die Mondoberfläche und drückt sie nach unten zusammen. Eine gewaltige Stoßwelle entsteht, und für kurze Zeit spritzt geschmolzenes Gestein zwischen Einschlagkörper und Oberfläche mit so hoher Geschwindigkeit heraus, daß es die Anziehungskraft des Mondes überwindet und in den Weltraum entweicht. Der Einschlagkörper selbst dringt immer tiefer, zertrümmert die Oberfläche und erzeugt eine schüsselförmige Vertiefung, die die Grenze des entstehenden Kraters bildet. Die im ersten Augenblick des Einschlags entstehenden

Stoßwellen besorgen die Aushöhlung des Kraters, indem sie zuerst die Oberfläche nach unten und außen drücken. Aber bald wird die Abwärtsbewegung nach oben umgelenkt. Das Material wird in einem Winkel von 40 Grad aus geworfen und der Krater ausgehöhlt. Die Geschwindigkeit des dabei ausgeworfenen Materials ist niedriger als die Einfallsgeschwindigkeit, so daß die Trümmer wieder zur Mondoberfläche zurückfallen. Dieser Materialauswurf hält an, solange der Krater weiter wächst, wobei die Geschwindigkeiten mit der Erschöpfung der Einschlagsenergie rasch abnehmen. Wie lange dieser Vorgang dauert, das hängt von der Größe des Kraters ab. Das in den ersten Phasen der Kraterentstehung herausgeschleuderte Material fällt nun in großen Entfernungen wieder auf die Oberfläche zurück, wobei dann die Sekundärkrater erzeugt werden. Da die Auswurfgeschwindigkeit rasch abnimmt, schlägt das Material immer näher am Krater ein und braucht immer kürzere Zeit. Nachdem nun das letzte Material herausgeschleudert wurde und der Krater aufgehört hat zu wachsen, kann sich durch eine Reihe von Vorgängen sein Erscheinungsbild immer noch verändern. So sind bei Kratern mit mehr als 15 km Durchmesser die steilen inneren Kraterwände zu hoch, als daß sie unter diesem Winkel stehen bleiben könnten. Große Teile rutschen daher ab, sinken zusammen und bilden eine Art Stufenterrassen. In den letzten Momenten der Krateraushöhlung gibt es große Mengen von Gesteinstrümmern, Staub und sogar geschmolzenem Gestein, die nicht mehr über den Krater rand hinauskommen und an der Kraterwand zurückgehalten werden. Dieses Material wird die Wand hinabgleiten und sich auf dem Kraterboden ausbreiten. Das kann vor, während oder nach der Abrutschphase passieren. Während das Abrutschen und der Trümmerstrom anhalten, setzt unter dem Kraterboden eine andere Art von Bewegung ein. Es beginnen großräumige Bewegungen nach oben und gegen das Zentrum des Kraters. Der Boden hebt sich, der Krater verflacht, und in seinem Zentrum entsteht ein Zentralberg. Ähnliche Vorgänge kann man beobachten, wenn man einen Stein ins Wasser fallen läßt. Vulkankrater auf dem Mond sind sehr selten und klein, überhaupt nicht vergleichbar mit den Vulkanriesen auf der Erde oder dem Mars. In ein paar Gebieten sind verschiedene Schlote zu finden, die als Hügel in die Höhe ragen - im Gegensatz zu den Löchern der Einschlagkrater - und damit zeigen, daß eine Eruption stattgefunden hat. Ihre äußeren Abhänge sind breit, und durch die Austrittsöffnungen für die Lava sind sie gut von den Einschlagkratern zu unterscheiden. Andere interessante Objekte auf der Mondoberfläche sind die Rillen, die schon in der ersten Zeit der Fernrohrbeobachtung an vielen Stellen des Erdtrabanten als langgestreckte Linien bemerkt wurden. Die größte von ihnen ist die Sirsalis-Rille mit 430 km Länge und einer durchschnittlichen Breite von 3,5 km. Aber es gibt auch Rillen bis zur Grenze der optimalen Auflösung. Sie kommen auf jedem Gelände vor, doch sind sie um die Ränder der Maria konzentriert und relativ selten auf der Rückseite des Mondes. Die zwei Seiten der Rillen sind Verwerfungen, die entstanden, als der Boden rechts und links zurückwich und der zentrale Teil dazwischen absank. Rillen werden gewöhnlich breiter, wenn sie höheres Gelände kreuzen. Einzelne normale Verwerfungen, bei denen der Boden auf der einen Seite relativ zur anderen absinkt, sind auf dem Mond viel seltener. Das beste bekannte Beispiel ist die "Gerade Wand", die 115 km lang und 400 m hoch ist. Die Verteilung der Verwerfungen und Gräben über dem Mond zeigt ein interessantes Muster. Sie treten in drei Vorzugsrichtungen auf: Nordwest-Südost, Nordost-Südwest und Nord-Süd. Man bezeichnet dieses Muster auch als "lunares Netzmuster". Es handelt sich dabei offenbar um ein fundamentales Muster der Mondkruste, das entweder durch die Gezeitenwirkung der Erde oder durch den Imbrium-Einschlag gebildet wurde. Betrachtet man die ausgedehnten Ebenen der Maria unter steiler Beleuchtung, so erscheinen sie flach und strukturlos. Aber bei niedrigem Sonnenstand ändert sich das Bild drastisch: Myriaden von winzigen Kratern werfen plötzlich lange Schatten, und unvermutet erscheinen viele niedrige Rücken. Sogar geringe Höhenschwankungen sind auszumachen, wo das Sonnenlicht am flachsten einfällt. Aber die Höhe der Wellen beträgt nur ein paar

Meter und weniger. Wenn aber die Maria wirklich Lava sind, wie behauptet wird, dann müßten unter niedrigem Sonnenstand deutlich Lavafronten zu sehen sein. Das ist aber nicht der Fall. Auch gibt es keine Vulkankegel und Anzeichen dafür, wo die Lava herkam.

Die Lösung brachten schließlich die ersten Gesteinsproben vom Mond. Wenn man nämlich Gestein in derselben Zusammensetzung wie das Mondgestein schmilzt, ist es weit- aus flüssiger als irgendeine auf der Erde gefundene Lava. Ihre Viskosität entspricht etwa der von Maschinenöl, so daß sie nicht nur kurze Strecken fließt und merkliche Fronten bildet wie auf der Erde, sondern auch große Strecken zurücklegen kann, ehe sie erstarrt, Löcher fast wie Wasser auffüllt und keine sichtbaren Fronten oder andere Strukturen bildet, die anzeigen, wo ein Lavastrom endet und ein anderer beginnt.

Der größte Teil der Mondoberfläche wird allerdings von den eng mit Kratern bedeckten Hochländern eingenommen. Sie wurde durch ein ununterbrochenes Bombardement gebildet, dem immer wieder die älteren Krater von neuen überdeckt und schließlich wieder zerstört wurden. Die Hochländer sind älter als die Maria. Allerdings ist der Alters- unterschied zwischen beiden - wie Gesteinsproben zeigten - nicht sehr groß. Die älte- sten Maria sind ungefähr 3,9 Mrd. Jahre alt, das Alter des Mondes beträgt 4,6 Mrd. Jahre. Die Hochländer waren also 700 Mio. Jahre oder um weniger als 20 % länger dem Bombardement ausgesetzt als die Maria. Vergleicht man die Kratergröße in den Hoch- ländern und den Maria, so stellt man fest, daß die Hochländer weitaus mehr als 20 % mehr als große Krater haben als die Maria. Es scheint also, daß das Bombardement vor der Bildung der Maria viel heftiger war als nachher.

Um den Grund dafür herauszufinden, muß man die verschiedensten Theorien der Mondent- stehung betrachten, die man in drei Hauptgruppen unterteilen kann: a) Mond und Erde entstanden zusammen als Doppelplanet, b) der Mond spaltete sich von der Erde ab, c) die Schwerkraft der Erde hat den Mond aus einem anderen Teil des Sonnensystems ein- gefangen. Leider gibt es zur Zeit keine allgemein anerkannte Theorie, da wenig Kon- kretes zur Aufklärung des Ereignisses übrigblieb, das vor 4,6 Mrd. Jahren stattfand. Die meisten modernen Theorien gehen davon aus, daß der Mond in irgendeiner Periode von kleineren Körpern bombardiert wurde und daß die Hochländer das Ergebnis dieses Bombardements sind. Wenn der Mond die Sonne 700 Millionenmal umkreist hat, wird er mit allen Körpern im Sonnensystem zusammengestoßen sein, deren Bahn sich der seinen näherte. Die Häufigkeit der Einschläge muß daher in der frühen Geschichte des Erd- trabanten sehr rasch abgenommen haben, später aber nur noch sehr langsam.

Unser Wissen über Merkur basiert fast ausschließlich auf der Mariner-10-Mission mit ihren drei Vorbeiflügen in den Jahren 1974/75. Die zur Erde übermittelten Fotos zeigten einen mondähnlichen Himmelskörper, auf dessen Oberfläche Krater die beherr- schende Geländeform darstellen. Die -nicht unerwartete- Entdeckung der kraterüber- sähten Oberfläche des sonnennächsten Planeten bestätigte, daß der Einschlagprozeß in der Geschichte der festen planetaren Körper des Sonnensystems eine bedeutende Rolle spielte. Die Merkurkrater haben alle morphologischen Elemente ihrer lunaren Entspre- chungen. Ein Charakteristikum ist zum Beispiel, daß sehr frische Krater sowohl auf dem Mond als auch auf dem Merkur helle Strahlensysteme aufweisen. Auch zeigen sie eine allmähliche Veränderung der Morphologie mit der Größe. So sind die kleinsten Krater, von mikroskopischer Größe bis zu ungefähr 8 km Durchmesser schüsselförmig. Etwas größere Krater können kleine ebene Böden haben, und noch größere Krater be- sitzen sogar Zentralberge. Die größte Einschlagstruktur auf dem Merkur ist das 1300 km große Becken Caloris, das große Ähnlichkeiten, aber auch Verschiedenheiten mit dem Mare Imbrium aufweist, die möglicherweise auf die viel stärkere Oberflächengravitation am Merkur oder auf Unterschiede in den Strukturen der Kruste zurückzuführen sind.

Das Calorisbecken ist von einer Aureole relativ glatten Geländes umgeben, das von den Geologen der Mariner-10-Mission, wie Robert Strom und Newell Trask als besondere geo- logische Einheit betrachtet und "Glatte Ebenen" genannt wird. Man glaubt, daß diese

Einheit durch die Eruptionen von großen Mengen Lava entstanden ist, nachdem die meisten Krater, einschließlich Caloris, gebildet worden waren. Als weitere Einheit auf dem Merkur ist die Zwischenkraterebene zu nennen, die am weitesten verbreitet ist. Sie findet sich, wie der Name schon sagt, zwischen den großen Kratern; kleinere Krater - kleiner als 20 km - sind in die Einheit eingeschlossen. Man glaubt, daß die Zwischenkraterebenen vor den meisten Kratern existierten, weil die Auswürfe von den Kratern in ihnen Sekundärkrater gebildet haben; auch hat die starke Gravitation von Merkur die Auswurfdecken auf die nähere Umgebung der Krater so beschränkt, so daß ein Großteil der früheren Oberfläche unbedeckt blieb. So stellen die Zwischenkraterebenen daher eine Phase in der Geschichte des Planeten dar, in der praktisch alle früheren Meteoriteneinschläge ausgelöscht waren, was wahrscheinlich durch sehr verbreiteten Vulkanismus bewirkt wurde. Die Zwischenkraterebenen sind vulkanischen Ursprungs, obwohl es möglich ist, daß sie durch umfassendes Schmelzen der Kruste - zur Zeit der Differenzierung in Kern und Kruste - entstanden sind.

Aus all diesen Beobachtungen und den Ähnlichkeiten mit dem Mond schlossen die Wissenschaftler des Mariner-10-Teams, daß beim Merkur die Differenzierung schon sehr früh stattgefunden hat und zur Bildung einer Silikatkruste und eines Eisen-Nickel-Kerns geführt hat. Ferner konnten die Wissenschaftler mit Hilfe der Beobachtungen aufgrund himmelsmechanischer Beobachtungen feststellen, daß Merkur eine perfektere Kugel ist als die Erde und der Mond. Diese Kugelform stützt die Annahme, daß die während der Mission auf der sonnenbeschienenen Seite beobachteten Formationen: große Becken, glatte Ebenen, Krater und Zwischenkraterebenen für den ganzen Planeten repräsentativ sind.

Berichtigung: Vorname - statt Peter - Bernhard Mackowiak