

---

# WILHELM FOERSTER STERNWARTE <sup>E.</sup><sub>V.</sub> MIT ZEISS-PLANETARIUM BERLIN

BERLIN 41 • Munsterdamm 90 • Insulaner • Ruf 7962029

---

## Protokoll

der

255. Sitzung der

Gruppe Berliner Mondbeobachter

1981 November 09

---

Beginn: 20 Uhr

Es sind erschienen die Damen Bichmeier, Schmitz, sowie die Herren von Blanckenburg, Ehlert, Erfurth, Freitag, Freydank, Hänig, Haug, Jahn, Kunert, Leder, Liebold, Mackowiak, Maier, Nehls, Sydow, Völker, und noch vier weitere Gäste.

Herr Kunert eröffnet die Sitzung um 20,05 Uhr und begrüßt die Teilnehmer, Er verliest eine Anzahl Bitten von Sternfreunden aus dem In- und Ausland um "Patenschaften". Es stellt sich heraus, daß die aktiven Berliner Sternfreunde fast durchweg mehrere Paten zum Teil unter erheblichem finanziellen und zeitlichen Aufwand betreuen und daß es im Augenblick nicht möglich ist, neue Paten zu finden, so sehr der Wunsch danach verstanden wird. Dann verteilt Herr Kunert Material für künftige Referate. Herr Freitag übernimmt "the Ancient Sun" und "Ikarus" Heft 1 Juli 1981. Herr Erfurth übernimmt das Buch "Der Mondeffekt". Herr Freydank zeigt dann eine Anzahl Meteorite u.a. vom Fundort Pueblo de Aliende, Mexico, vom 9. Februar 1969, aus seinem privaten Bestand als Ergänzung zum Referat bei der vergangenen Mondgruppensitzung. Es wird überlegt, vielleicht einmal wieder eine Meteoritenausstellung zu machen. Dann weist Herr Kunert auf den Bücherbasar am nächsten Mittwoch hin und betont die Tatsache, daß erst um 19 Uhr eröffnet wird. Anschließend beginnt Herr von Blanckenburg mit seinem Referat über die Entstehung von Mondkratern und maria aus dem Journal "the British Astronomical Association", Vol. 91, No. 3, April 1981:

Der Autor stellt eine neue Hypothese zur Entstehung der maria auf dem Mond dar. Zuerst gibt er jedoch drei herkömmliche Modelle an:

- 1) Bei kreisförmigen maria könnte man annehmen, daß der Aufschlag eines Riesene meteoriten genügend Energie zum Schmelzen des Materials aufgebracht hat, das jetzt das Einschlag-Becken ausfüllt.
- 2) Lavasee-Hypothese: Eine weit unter der Oberfläche gelegene Quelle flüssigen Basalt-Materials, also Lava, füllte das vorhandene Becken zu seiner heutigen Höhe auf.
- 3) Mehrfach-Strom-Hypothese: Die Becken wurden durch viele einzelne aufeinanderfolgende Lava-Ströme zur heutigen Höhe aufgefüllt.

Da er feststellt, daß mit diesen 3 Hypothesen vieles nicht erklärt werden kann, stellt der Autor ein eigenes Modell auf: Die Verflüssigungshypothese.

Sie nimmt eine Wärmequelle in 20 - 200 km Tiefe an (je nach Rechnung), die das Gestein über sich schmelzen ließ und sich somit zur Mondoberfläche hin "fortbewegte". Nahe dieser wurde die Hitze abgestrahlt und das Gestein kühlte sich ab. Im Laufe des Vorganges hatte sich die gebirgige Oberfläche jedoch zu einer Waagerechten, dem mare, entspannt. Aufgrund von Hitzeverlusten (z.B. durch seitliche Abstrahlung) konnten die Hochländer nie die Temperatur (sprich: Dünnschmelze) der tieferen Regionen erreichen und somit keine so flache Oberfläche annehmen.

Einwände zu den bisherigen 3 Modellen zur Entstehung der maria:

Zu der Meteoriten-Hypothese: Wenn man die Erosion der durch den Aufschlag des Riesenmeteoriten entstandenen Sekundärkrater durch spätere Meteoriteneinschläge mit der Kraterdichte auf der Oberfläche der maria vergleicht, die eigentlich gleich sein sollte, so stellt man fest, daß die Sekundärkrater sehr viel stärker erodiert sind als die maria. Das heißt, daß die jetzige Oberfläche der maria sehr viel später entstanden sein muß als die Sekundärkrater und damit das Becken selbst.

Nach der Lavasee-Hypothese müßte man von ein paar Metern unter der Oberfläche bis zu einer beträchtlichen Tiefe durchgehend einen gewachsenen Fels erwarten. Dafür gibt es aber, abgesehen von einzelnen Basaltfelsen auf der Mondoberfläche, keinen Anhaltspunkt.

Bei der Mehrfach-Strom-Hypothese dürfte man sowohl Anzeichen für die Quellen des letzten Stromes erwarten, als auch Strömungsspuren bei evtl. Engpässen zum Beispiel.

Abschließend gibt der Autor die Vorzüge des Verflüssigungsmodells an, von denen hier nur zwei genannt seien.

Seismische Messungen auf dem Mond lassen auf eine beträchtliche Inhomogenität der Dichte oder des Mineraltyps des Gesteins der obersten Kilometer der maria schließen.

Dies läßt sich leicht durch die topographische Struktur vor der Verflüssigung erklären. Die Lavasee- und die Mehrfach-Strom-Hypothesen bieten keine Erklärung.

Abgesehen von einem Meteoriten-Dombardement scheint der Mond ein relativ passives Objekt zu sein. Die Lavasee- und Mehrfach-Strom-Modelle brauchen jedoch eine "ad hoc-Hypothese" -wie der Autor es nennt- um ihre riesigen Mengen Lava zu produzieren und an die Mondoberfläche zu bringen. Bei dem Verflüssigungsmodell dagegen könnte sich der Prozeß der Wärme-Erzeugung langsam aufgebaut haben, über Jahrmillionen durch das Oberflächenmaterial geschützt. Diese Hypothese braucht keine Flutkatastrophe.

Das Referat findet den Beifall der Anwesenden. Im Anschluß daran erhält Herr Mackowiak das Wort zur Fortsetzung seines Referates über Planetengeologie. Das Protokoll darüber wird im nächsten Monat nachgereicht, da sich Herr Mackowiak gerade mit seinem Haushalt im Umzug befindet. Der Vortrag findet großen Beifall.

Ende der Sitzung: 21.48 Uhr

Die nächste Sitzung der GRUPPE BERLINER MONDBEOBACHTER findet am

M o n t a g , d. 14. Dezember 1981, 20 Uhr

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

gez. von B l a n c k e n b u r g      gez. J a h n      gez. K u n e r t

# Fortschritte der Mondforschung

Johannes Classen, Pulsnitz

Der Mond hat eine bisher wenig beachtete Atmosphäre. Sie ist sehr dünn und besitzt keine Beständigkeit, wie man zunächst anzunehmen geneigt ist. Vielmehr ist die Mondatmosphäre einer ständigen Erneuerung unterworfen: Erstens wird bei den ununterbrochenen Meteoriteneinschlägen auf den Mond während der Impaktvorgänge lunares Oberflächenmaterial verdampft. Zweitens gelangt durch die lunare Restentgasung beziehungsweise durch den lunaren Restvulkanismus Gas in die Mondatmosphäre. Auch die Desorption von Gasen des Sonnenwindes, die vorher an der Oberfläche adsorbiert wurden, könnte einen Anteil an der Mondatmosphäre haben. Von dieser Mondatmosphäre wandert Gas kontinuierlich wieder in den Weltraum ab. Der Mond vermag mit seiner Anziehung die Gasmoleküle nicht an sich zu ketten. Zwischen dieser abwandernden Atmosphäre und dem zuströmenden neuen Gas besteht ungefähr ein Gleichgewicht, so daß abgesehen von den Schwankungen zwischen Tag und Nacht die Dichte der Mondatmosphäre im großen und ganzen konstant bleibt.

In Zukunft beginnt jedoch mit großer Wahrscheinlichkeit ein neuartiger Zustrom von Gas in die Mondatmosphäre, dann nämlich, wenn infolge der Weiterentwicklung der Raumfahrt (Space Shuttle) neue und vor allem sehr zahlreiche Raumflugkörper zum Mond fliegen werden. Sie alle werden Abgase auf dem Mond zurücklassen und mit ihnen die natürliche Mondatmosphäre verunreinigen. Den Hauptanteil dieser Fremdstoffe dürften die Abgase der Raketentriebwerke liefern. Über die Natur dieser Abgase lassen sich Schlüsse ziehen, wenn man die chemische Zusammensetzung der verwendeten Treibstoffe betrachtet. Beispielsweise wurde bei den Apollo-Flügen eine Treibstoffkombination von Aerozine 50 als Brennstoff und von Stickstofftetroxid ( $N_2O_4$ ) als Oxidator benutzt. Da Aerozine 50 zu ungefähr gleichen Anteilen aus Hydrazin ( $N_2H_4$ ) und unsymmetrischen Dimethylhydrazin [ $N_2H_2(CH_3)_2$ ] besteht, dürften in den Abgasen Verbindungen von N, C, H und O auftreten. Derartige Gase wurden durch die ALSEP-Stationen der Apollo-Unternehmen auch nachgewiesen.

Über die Menge der dadurch in die Mondatmosphäre eingebrachten Fremdstoffe sei nur bemerkt, daß jede Apollo-Landefähre für den Ab- und Wiederaufstieg 10 800 kg Treibstoff an Bord hatte. Die Verbrennung dieses Treibstoffes fand zwischen 110 km Höhe (Ausgangsbahn) und der Mondoberfläche statt. Geht man von einer Gasdichte in der Mondatmosphäre aus, die sich in der Größenordnung von  $10^{-20}$  g  $cm^{-3}$  bewegt, so wie es die Apollo-Meßergebnisse nahelegen, dann ist die genannte Treibstoffmenge ein gegenüber dem Gasgehalt der Mondatmosphäre nicht zu vernachlässigender Betrag. Auch aus den Kabinen der Raumflugkörper bleiben bei den Mondflügen Gase auf dem Mond zurück, so beispielsweise irdische oder künstlich erzeugte Luft. In diesem Falle dürften in den Abgasen vor allem Verbindungen von N und O vorhanden sein. Sicher ist diesen Kabinen-Abgasen aber auch Wasser ( $H_2O$ ) beigemischt. Niemand vermag bereits zu sagen, wie sich diese „Umweltverschmutzung“ im Laufe der Zeit auf dem Mond auswirken wird. Man kann lediglich ähnliche Vorgänge auf der Erde studieren und versuchen, von der Verschmutzung der Erdatmosphäre auf die zukünftige Verschmutzung der Mondatmosphäre zu schließen.

Die bedrohlichste Verschmutzung der Erdatmosphäre ist der weltweite Anstieg des  $CO_2$ -Gehaltes der Erdatmosphäre als Folge der Verbrennung von Kohle und Öl durch den Menschen [1, 2]. Schon um 1945 wies Callendar darauf hin, daß der  $CO_2$ -Gehalt der Erdatmosphäre im Ansteigen begriffen ist. Zur Nachprüfung seiner noch sehr unsicheren Meßreihen begann man 1957 auf dem 3000 m hohen Mauna Loa auf Hawaii, also fernab von jeder menschlichen Zivilisation, mit neuen Beobachtungen. Die Abbildung 1 zeigt die bis heute einzigartige Meßreihe. Man erkennt eine stetig sich wiederholende jährliche Schwankung, die von einem langsamen, jedoch pausenlos andauernden Anstieg überlagert wird. Die jährliche Schwankung des  $CO_2$ -Gehaltes hat folgende Ursache. Im Frühjahr bei Beginn der Wachstumsperiode wird der Erdatmosphäre  $CO_2$  entzogen. Im Winterhalbjahr erfolgt durch die Zersetzung der im Frühjahr und Sommer entstandenen organischen Substanz die Rückführung von  $CO_2$  in die Erdatmosphäre. Der Kreislauf schließt sich also wieder.

Der unaufhörliche Anstieg des  $CO_2$ -Gehaltes dagegen, dessen zukünftige Folgen noch weitgehend ungeklärt sind, wird durch den Menschen verursacht. Er ist die Folge davon, daß der Mensch in zunehmendem Maße fossile Brennstoffe verbraucht. Die Drosselung dieses Verbrauchs wird übrigens ein

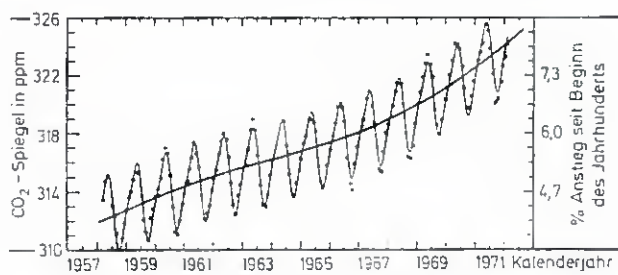


Abb. 1. Der Anstieg des  $CO_2$ -Gehaltes der Erdatmosphäre.  $CO_2$ -Spiegel nach Messungen auf dem Mauna Loa Observatorium, Hawaii (3000 m Höhe). Nach [1].

Johannes Classen, Sternwarte Pulsnitz, Großbrösrdorfer Str. 27, DDR-8514 Pulsnitz.



schwieriges Problem werden, da die fossilen Brennstoffe noch viele Jahrzehnte die Grundlage der menschlichen Energiewirtschaft bilden dürften. Bezogen auf den Mond kann man aus dieser irdischen Luftverschmutzung die Erkenntnis ableiten, daß selbst eine auf den ersten Blick geringe Zufuhr von Fremdstoffen die Atmosphäre eines Himmelskörpers nennenswert zu beeinflussen vermag. Zwar ist, wenigstens so weit man die Entwicklung der Raumfahrt übersehen kann, die Verschmutzung der Erdatmosphäre durch fossile Brennstoffe quantitativ viel bedeutender als die Verschmutzung der Mondatmosphäre durch zukünftige Raketenabgase. Aber die Mondatmosphäre ist dafür auch ganz erheblich viel dünner als die Erdatmosphäre, so daß sich Fremdstoffe in ihr viel mehr auswirken müssen.

Auf eine eigenartige Auswirkung der lunaren Luftverschmutzung sei bereits hingewiesen. Bei einer sehr starken Zunahme der Raumflugaktivitäten im mondnahen Raum beziehungsweise auf der Mondoberfläche, also in den kommenden Jahrzehnten und Jahrhunderten, sollten die Raketenabgase eine Zunahme der Dichte der Mondatmosphäre bewirken. Das sollte zu einer besseren Abschirmung des Mondes gegen Mikrometeorite führen. Es gelangen nicht mehr so viel Mikrometeorite auf die Mondoberfläche. Vor allem die extrem kleinen Mikrometeorite verglühen jetzt. Nach den auf dem Mondgestein gefundenen Kraterspuren erreichten bisher Mikrometeorite von etwa 0,0001 mm Durchmesser aufwärts unbehindert die Mondoberfläche.

Nun ist weiter über eine Bestandsaufnahme der bisherigen Mondflüge zu berichten, die B. M. French [3] durchgeführt hat. Danach wurden durch die sechs Landungen von Apollo 11, 12, 14, 15, 16 und 17 mehr als 2 000 verschiedene Mondproben zur Erde gebracht. Sie hatten ein Gesamtgewicht von 381,8 kg. Außerdem holten die drei automatischen Mondsonden der UdSSR, Luna 16, 20 und 24, kleine, aber

wichtige Bodenproben von unserem Erdbegleiter. Dadurch befindet sich jetzt von neun verschiedenen Stellen der Mondoberfläche Material in irdischen Laboratorien. Diese neun Stellen liegen den Landorten der betreffenden Raumflugkörper entsprechend alle auf der Mondvorderseite. Außerdem erfolgten die Landungen ausnahmslos in der Nähe des Mondäquators, weil sich von letzterem aus das Zurückfliegen der Raumflugkörper nach der Erde leichter einleiten läßt als beispielsweise von den Polen des Mondes.

Alle zur Erde gebrachte Mondsubstanz muß bei Nichtgebrauch ständig unter getrocknetem Stickstoff aufbewahrt werden, um eine Reaktion mit irdischem Sauerstoff und Wasser zu vermeiden. Von den erwähnten 381,8 kg Mondsubstanz sind 338,5 kg magaziniert und haben ihren Aufbewahrungsort Houston (Texas, USA) noch nie verlassen. 21 kg der Mondsubstanz wurden bis jetzt intensiv untersucht, 9 kg sind zur Zeit noch an Institute außerhalb von Houston verschickt, 6 kg gingen bei chemischen Untersuchungen verloren, und 50 Schaulstücke im Gewicht von 19 bis 800 g reisen quer durch die USA, wo sie in Museen, Universitäten usw. ausgestellt werden. 30 g der kostbaren Mondsubstanz, die nach Südafrika gebracht werden sollten, stürzten bei einem Flugzeugunglück in den Atlantik.

Auf dem Mond wurden bekanntlich mehrere Seismometer stationiert. Sie registrierten bisher rund 3000 Beben, die ihre Herde in etwa 700 bis 1200 km Tiefe hatten (Abb. 2). Alle diese lunaren Beben sind sehr schwach, sie erreichen höchstens die Stärke 3 der Richterskala. Insgesamt erzeugt der Mond weniger als den zehnmilliardsten Teil jener Bebenenergie, welche die Erde hervorbringt. Bemerkenswert ist, daß sich bestimmte Arten von Mondbeben bei jedem Umlauf des Mondes um die Erde zur gleichen Zeit häufen. Diese Erscheinung dürfte ihre Ursache in Gezeitenwirkungen innerhalb des Erde-Mond-Systems haben. Die Seismometer arbeiteten übrigens überraschend lange. Ihre Lebenszeit war vorher nur auf ein Jahr bemessen, tatsächlich waren einige von ihnen sieben bis acht Jahre in Betrieb. Zuletzt wurden sie abgeschaltet, als sich herausstellte, daß die hohen Unterhaltungskosten der Bodenstationen in keinem rechten Verhältnis mehr zu dem wissenschaftlichen Ertrag der Beobachtungen standen.

Überraschend lange waren auch die von Apollo 15 und Apollo 17 auf dem Mond aufgestellten Apparaturen zur Messung des lunaren Wärmeflusses funktionsfähig. Während der Wärmefluß der Erde an deren Oberfläche durchschnittlich  $6,3 \cdot 10^{-2} \text{ W m}^{-2}$  beträgt, besitzt er in den beiden genannten lunaren Landegebieten Werte von  $1,8$  bis  $3,1 \cdot 10^{-2} \text{ W m}^{-2}$ . Von den auf dem Mond installierten Instrumenten seien noch die Laser-Reflektoren erwähnt. Mit ihnen

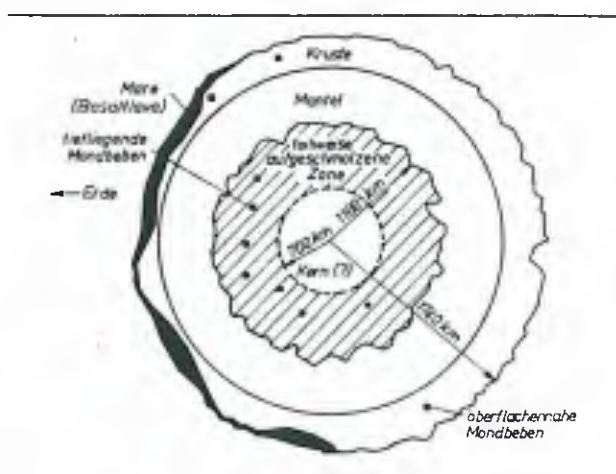


Abb. 2. Das Innere des Mondes. Nach [3].

konnte die Entfernung Erde—Mond mit einer Genauigkeit von wenigen Zentimetern gemessen werden. Man verwandte dazu Argon-Laserstrahlen, deren Durchmesser sich bis zum Mond auf etwa 16 km vergrößerte.

Als bester Wert für das Alter des Mondes, der aus der Untersuchung des Mondgesteins abgeleitet wurde, gilt der Wert  $4,6 \cdot 10^9$  Jahre, der bisher bereits aus der Untersuchung des irdischen und des meteoritischen Gesteins als Alter unseres Sonnensystems angenommen wurde. Die Basalte der Mondmaria sind maximal  $3,85 \cdot 10^9$  Jahre alt, während das Gestein der Hochländer des Mondes fast bis an den genannten Wert von  $4,6 \cdot 10^9$  Jahren herankommt und damit Gestein der ersten Mondkruste repräsentiert. Das älteste irdische Gestein ist demgegenüber nur knapp  $3,8 \cdot 10^9$  Jahre alt. Es ist durch geologische Prozesse mannigfach verändert und kann nicht als Vertreter des ursprünglichen Gesteins der Erdkruste angesehen werden. Die Proben für dieses älteste irdische Gestein stammten übrigens aus Grönland, Minnesota (USA) und Swasiland (Südafrika). Der Mond bewahrte also Proben seiner ersten Oberflächenkruste auf, die Erde dagegen nicht.

Als Tiefe für die Regolithschicht des Mondes werden jetzt Werte zwischen 1 und 20 m angenommen. Der Regolith entstand durch das ständige Meteoritenbombardement, das auf dem durch keine dichte Atmosphäre geschützten Mond niederging. Der Regolith wurde im Laufe der Mondgeschichte chemisch nicht verändert, da auf dem Mond keine Verwitterung stattfindet. Die bei den Einschlägen er-

zeugten Impaktkrater haben Durchmesser bis zu 1000 km (Mare Imbrium). Die kleinsten derartigen Gebilde sind die durch Mikrometeorite auch heute noch ständig entstehenden winzigen Vertiefungen auf den Fragmenten des Mondgesteins, die bis zu Durchmessern von etwa  $1 \mu\text{m}$  verfolgt werden können.

Interessant ist, daß größte und kleinste Krater oft genau die gleiche Struktur haben. Die vor  $4 \cdot 10^9$  Jahren entstandene Impaktstruktur des Mare Orientale mit 800 km Durchmesser zeigt ähnliche konzentrische Terrassen wie manche der von den Mikrometeoriten verursachten winzigen Krater (Abb. 3). Die bei den Einschlägen herausgesprengten und zertümmerten Gesteinsmassen wurden über Hunderte von Kilometern um den Aufschlagsort zerstreut, so daß der Regolith eine gute Mischung des verschiedensten Bodenmaterials darstellt.

Nun zeigen die Aufnahmen der Mondrückseite bekanntlich eine wesentlich größere Kraterdichte, als man sie von der Vorderseite gewöhnt ist. Diese Erscheinung führte zu der Annahme, daß die Erde eine abschirmende Wirkung bei den Meteoriteneinschlägen auf den Mond ausgeübt hat. Nach den Untersuchungen des Verfassers kann diese Annahme die Kraterarmut der Vorderseite jedoch nur teilweise erklären. Eine genauere Berechnung der abschirmenden Wirkung der Erde zeigt, daß unser Planet gegenwärtig nur etwa 0,01% der normalerweise auf die Mondvorderseite auftreffenden Meteorite abfängt.

Möglicherweise war dieser Prozentsatz vor etwa  $4 \cdot 10^9$  Jahren, also zu der Zeit, in der die mei-

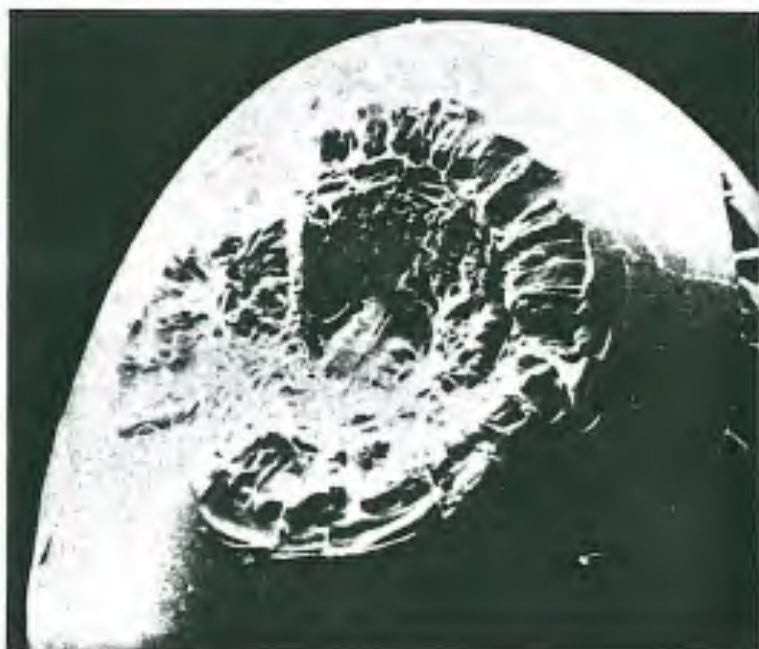


Abb. 3. Glaskügelchen vom Mond von weniger als 1 mm Durchmesser mit Impaktkrater. Nach [3].



sten Krater entstanden, um ein Vielfaches größer. Damals dürfte nämlich die Entfernung Erde—Mond kleiner gewesen sein als heute, so daß die abschirmende Wirkung der Erde mehr ins Gewicht fiel. Allein, auch damals kann die Erde nicht einen so großen Prozentsatz an Meteoriten abgefangen haben, daß sich dadurch die heutige unterschiedliche Kraterdichte von Mondvorderseite und Mondrückseite erklären läßt. Fehlen doch, wenn man die Mondkrater auf geeigneten Mondkarten [4] abzählt, auf der Mondvorderseite mindestens 35% der Mondkrater, welche die Mondrückseite aufweist.

Die richtige Erklärung dieser ungleichen Kraterverteilung ist nicht schwer. Es existiert bekanntlich auf der Mondvorderseite eine nicht geringe Anzahl großer Maria, die alle sehr kraterarm sind, weil emporkommendes Basaltmagma diese Maria vor  $3,85 \cdot 10^9$  bis  $3,15 \cdot 10^9$  Jahren überflutete [5]. Die Mondrückseite weist dagegen kaum größere Maria auf. Die Kraterdichte mag also ursprünglich auf dem Mond überall annähernd gleich gewesen sein. Jetzt liegen dagegen auf der Mondvorderseite viele Krater unter dem Basaltmagma der großen Maria begraben.

Nun wird damit zwar die größere Kraterdichte auf der Mondrückseite hinreichend erklärt. Es taucht aber das neue Problem auf, warum die Maria seinerzeit nur auf der erd zugewandten Seite des Mondes entstanden sind. Mit großer Wahrscheinlichkeit war hierfür der Schwarm extralunarer Großkörper verantwortlich, der vor etwa  $3,9 \cdot 10^9$  Jahren zunächst die kreisförmigen „echten“ Maria und als Folgeerscheinung die unregelmäßig gestalteten „unechten“ Maria erzeugte [5]. Ein aus dem Weltraum kommender Meteoritenschwarm wird nämlich stets nur auf einer einzigen Seite des Himmelskörpers niedergehen, also im Falle des Mondes beispielsweise auf der Mondvorderseite oder auf der Mondrückseite. Kaum wird sein Niedergangsgebiet um den ganzen Himmelskörper herumreichen, nur bei einem Schwarm, der vorher als Ring um den Himmelskörper kreiste, kann letzterer Fall eintreten. Der Meteoritenschwarm, der die Maria auf dem Mond erzeugte, sollte also unmittelbar aus dem Weltraum gekommen sein. Ferner muß derselbe eine Bahn gehabt haben, die ihn zufällig gerade auf der Vorderseite des Mondes niedergehen ließ.

Ein wenig bearbeitetes Gebiet der Mondforschung war bisher die Untersuchung der Kraterketten. Mindestens zwei, möglicherweise sogar drei große Kraterketten sind auf der Mondvorderseite vorhanden (Maregürtel, Zentralkette und Kraterkette am Ost- rand des Mondes zwischen Langrenus und Fraunhofer). Wenigstens eine große Kraterkette existiert auf der Mondrückseite (im NE-Quadranten des Mondes). Ferner findet man auf Nahaufnahmen des Mondes durch Raumfluggeräte zahlreiche kleine

Kraterketten. Die großen Kraterketten können durch den Niedergang von Meteoritenschwärmen erklärt werden, die kleinen Kraterketten sind meist durch Mondvulkanismus entstanden [6].

Was schließlich noch die Untersuchung der Mondproben anbelangt, die sich in unseren Laboratorien befinden, so dauern diese Untersuchungen auch jetzt noch unvermindert an. Besonders in den amerikanischen Laboratorien bemüht man sich nach wie vor um eine Enträtselung des lunaren Gesteinsmaterials, wobei ein Deutscher, Klaus Keil (Albuquerque), mit an führender Stelle steht. Dabei überraschen die identifizierten Gesteinsarten immer wieder durch ihre erstaunliche Vielfalt.

Vergleicht man die Mondproben verschiedener Landeplätze miteinander, so werden für jeden Landeplatz bestimmte charakteristische Gesteinstypen erkennbar. Gleichzeitig zeigt sich aber auch, daß jeder Landeplatz nicht nur durch einen lokalen Gesteinstyp charakterisiert wird, sondern daß er ein Einzugsgebiet von teilweise mehreren Millionen Quadratkilometern (!) hat. Sogar Körnchen von der Mondrückseite waren in den zur Erde mitgebrachten Mondproben enthalten. Die Ursache hiervon ist wie gesagt das Bombardement extralunarer Körper, dem der Mond nun schon seit über 4 Milliarden Jahren ausgesetzt ist. Planetoiden, Kometenköpfe, vielleicht auch Mondtrabanten, vor allem aber Meteorite aller Größen, alles das stürzte seit dem genannten Zeitpunkt unausgesetzt auf die Mondoberfläche und verspritzte das Oberflächenmaterial des Mondes in alle Richtungen. Die Folge dieser umfassenden Materialumwälzung ist die schon er-



Abb. 4. Aufnahme des Vollmondes mit den dunklen Maria und den hellen Hochländern. Norden oben.

wähnte gute Durchmischung des Mond-Regoliths, auf die nicht oft genug hingewiesen werden kann. Eine an einem beliebigen Ort des Mondes entnommene Bodenprobe, und sei sie noch so klein, enthält wesentlich mehr Informationen als eine entsprechende Bodenprobe von unserer Erde!

Dabei hat der Mond ursprünglich eine verhältnismäßig einfache Entwicklung durchgemacht. In der Spätphase seiner Zusammenballung, das heißt vor 4,5 bis 5 Milliarden Jahren, erhitzen sich seine äußeren Zonen bis zur Schmelzbildung. Mit der Abkühlung dieser Schmelze erfolgte die erste geochemische Differenzierung der Mondmaterie. Es sammelten sich einerseits im Mondinnern die verhältnismäßig schweren Eisen-Magnesium-Silikate, um dortan den oberen Mondmantel zu bilden. Oberhalb dieses oberen Mondmantels fanden sich dagegen die Calcium-Aluminium-Silikate zur ersten festen Mondkruste zusammen, denn die Kristalle der Calcium-Aluminium-Silikate schwimmen auf der Schmelze und sammeln sich an der Oberfläche. Der Mond hatte somit kurz nach seiner Entstehung in seinem oberen Bereich von wenigen hundert Kilometern bereits einen schalenförmigen Aufbau (Abb. 2).

Später schlugen in die Mondkruste an einigen Stellen große extralunare Körper ein, wodurch sich Vertiefungen bildeten, die nach und nach durch hochdringende basaltische Ergüsse aufgefüllt wurden. Diese Basalte waren durch das Wiederaufschmelzen des erstarrten oberen Mondmantels entstanden. Der Ausfluß des Basalts endete vor etwa drei Milliarden Jahren. Heute sind die aufgefüllten Vertiefungen auf der Mondoberfläche mit freiem Auge als dunkle Flächen (Maria) zu erkennen. Besonders bei Vollmond fallen sie jedem sofort in die Augen (Abb. 4).

Die hellen Gebiete auf dem Mond, die sogenannten Mond-Hochländer, stellen dagegen die Reste der alten Mondkruste dar. Die auffallenden optischen Unterschiede dieser beiden Mondlandschaften gehen auf die Vorherrschaft unterschiedlicher Gesteine zurück. Die Maria sind mit Basalten gefüllt, deren wichtigste Bestandteile Klinopyroxen und Plagioklas sind. Die Hochländer bestehen durchweg aus plagioklasreichen Gesteinen. Hinzu kommt, daß die Maria verhältnismäßig kraterarm sind. Die Hochländer enthalten dagegen verhältnismäßig viel der meist sehr hellen Krater [7].

In diesem Zusammenhang ist eine aktuelle Frage nach wie vor diejenige nach der Herkunft des Mondes [8]. Drei klassische Theorien standen bisher zur Debatte:

1. Der Mond entstand getrennt von der Erde im inneren Sonnensystem und wurde später von der Erde eingefangen.
2. Der Mond entstand unmittelbar neben der Erde, so daß beide Himmelskörper eine Art Doppelplanet darstellen.



Abb. 5. Dritte der insgesamt fünf erhaltenen Mondzeichnungen Galileis. Aus G. Galilei: Sidereus Nuncius. Venedig 1610.

3. Der Mond wurde als Teil der Erde abgespalten und entfernte sich nach und nach von dieser.

Gegen die erste Theorie sprechen gewichtige himmelsmechanische Argumente. Damit ein von auswärts kommender Körper in eine so stabile Bahn gelangt, wie sie jetzt der Mond beschreibt, sind viele Bedingungen nötig, wie sie kaum alle vorausgesetzt werden können. Man kann sich hiervon überzeugen, wenn man den Versuch unternimmt, den Einfang eines Körpers durch die Erde und seine Überführung in eine stabile Satellitenbahn rechnerisch darzustellen.



Abb. 6: Phantasiebilder des Mondes auf einer ehemaligen Kirchenglocke aus Schmeckwitz bei Kamenz (13. Jahrhundert) und auf dem Josephfenster im Erfurter Dom (um 1365). Nach [9].



Bei der zweiten Theorie entstehen in himmelsmechanischer Hinsicht keine unüberwindlichen Schwierigkeiten. Probleme bereitet allenfalls die unterschiedliche Beschaffenheit der Erde und des Mondes, beispielsweise der große Dichteunterschied. Gewisse Probleme bietet auch die Neigung der Mondbahn gegen die Ebene des Erdäquators.

Gegen die dritte Theorie lassen sich mineralogische und chemische Argumente ins Feld führen. Das gänzliche Fehlen von Wasser beziehungsweise OH-Gruppen in den Mondmineralen spricht am deutlichsten gegen die Herkunft des Mondes unmittelbar von der Erde. Vor allem aber ist die Abtrennung des Mondes von der Erde ein in den Details völlig unverständlicher Prozeß.

Von den drei klassischen Theorien scheint die zweite die besten Aussichten zu haben, weiter von der Forschung ernst genommen zu werden.

Die Jahre nach der ersten bemannten Mondlandung (Apollo 11, 20. Juli 1969) haben uns wesent-

liche neue Erkenntnisse über den Mond gebracht. Es hat in der Geschichte nur noch einmal eine Zeit gegeben, in der die Erforschung des Mondes ähnlich große Sprünge machte, nämlich die Jahre unmittelbar nach der Erfindung des Fernrohrs (Galilei, Ende 1609). Damals stellte es sich heraus, daß es auf dem Mond Gebirge, Täler und Krater gibt (Abb. 5). Vorher hatte man den Mond meist mehr oder weniger als überirdisches Wesen (Abb. 6) angesehen.

#### SCHRIFTTUM

- [1] C. Junge, *Sterne u. Weltraum* 15, 235 (1976). — [2] J. Classen, *Die Sterne* 55, 174 (1979). — [3] B. M. French: *What's New on the Moon?* Washington 1977. — [4] Haak Handkarte: Erdmond Vorderseite Rückseite. Gotha 1973. — [5] J. Classen: *Das Innere des Mondes*. Veröff. Sternw. Pulsnitz Nr. 10, 1975. — [6] J. Classen: *Meteoritenkrater in Streuellipsen auf Erde, Mond und Planeten*. Veröff. Sternw. Pulsnitz Nr. 16, 1979. — [7] Protokoll der 245. Sitzung der Gruppe Berliner Mondbeobachter, 4. 8. September 1980. — [8] E. Hantzsch: *Doppelplanet Erde—Mond*. Leipzig 1973. — [9] J. Classen: *Die älteste Mondkarte*. Pulsnitz 1942.

## Statistische Lügen

Im Heft 6 der Naturwissenschaftlichen Rundschau 1981 haben wir ein Referat von Dr. Klaus Simon, München, über einen Artikel von Julian L. Simon (keine Verwandtschaft!) in *Science* 208, 1431 (1980), publiziert. Dazu haben die Redaktion und der Referent eine Anzahl von Stellungnahmen, positive wie negative, erhalten. Obwohl wir in unserer Zeitschrift kein „Leserforum“ haben oder planen, wollen wir ausnahmsweise auf das brisante und diskussionsanregende Thema zurückkommen. Vor allem danken wir all unseren Lesern für ihre kritischen Kommentare zu diesem Bericht und bitten um Verständnis, daß wir nicht sämtliche Zuschriften (und die abgedruckten auch nicht in voller Länge) wiedergeben können. Von den Äußerungen unserer Leser wollen wir jene herausgreifen, die sich die Mühe gemacht haben, den Bericht nicht nur als „Unsinn“ oder der „Naturwissenschaftlichen Rundschau unwürdig“ abzutun, sondern mit kritischen Überlegungen eine konstruktive Ergänzung zu den „Lügen“ zu liefern.

**Zuschriften von G. Steiner, J. Tamm, H. Heise, V. Kaminske**

Die Geschichte mit den „statistischen Lügen“ ist offenbar geprägt von dem amerikanischen Optimismus, daß der wissenschaftliche Fortschritt und seine

technische Auswertung mit sämtlichen Problemen fertig werden könne, auch wenn man in der gleichen Weise wie bisher Raubbau treibt. In diesem Zusammenhang möchte ich auf einen recht wichtigen Punkt hinweisen, der eine weniger optimistische Deutung unserer Lage verständlich und angebracht erscheinen läßt: Es ist der Unterschied zwischen den offenen und den geschlossenen Systemen. Ein biologischer Vergleich: Ein großer Binnensee mit wenig Zu- und Abfluß ist ein weitgehend geschlossenes System. „Offen“ ist dies im wesentlichen nur bezüglich ein- und ausstrahlender Energie (Sonne — Wärme). Sonst ist da ein Kreislauf von Energie und Stoffen, eine Gegebenheit, die von den Limnologen schon vielfach quantitativ wie qualitativ gründlich untersucht worden ist. — Gegenbeispiel: Eine felsige Meeresküste oder ein Korallenriff mit seiner ungeheuer dichten Besiedlung an Organismen. Sie ist nur möglich, weil hier ein offenes System vorhanden ist: Das Meer trägt Plankton und frisches Wasser heran und sorgt für „Wasserspülung“. Deshalb auch die große Schwierigkeit, ja Unmöglichkeit, solch eine Korallenbiozönose im Aquarium aufrechtzuerhalten.

Das Unbewältigbare an der heutigen Lage, das aus dem Artikel von Julian Simon spricht, ist der Gegensatz zwischen der Erde als geschlossenem System und dem Menschen als offenem System. Die Erde ist in der Tat seit etwa 3,5 Milliarden Jahren