

## **Unser heutiges Wissen vom Mond**

Von Univ.-Prof. Dr. Max T o p e r c z e r, Wien

Vortrag, gehalten am 15. April 1970

Eine Zusammenfassung unserer wichtigsten Erkenntnisse über den Mond ist heute von besonderer Aktualität. Ist er doch der erste Himmelskörper, den eines Menschen Fuß betreten hat und der daher in gewissem Sinn — wenn auch mit bedeutend größeren technischen Schwierigkeiten — ebenso unmittelbar untersucht werden kann, wie die Erde selbst.

Natürlich stammen unsere Mondkenntnisse nicht erst aus jüngster Zeit, wenn auch die Satellitenforschung unsere Kenntnisse wesentlich bereichert hat, indem sie — um nur ein Beispiel zu nennen — uns auch die bisher unsichtbare Rückseite des Mondes sichtbar gemacht hat. Schon die Völker des Altertums beschäftigten sich mit dem Mond. Der beste Beweis ist das Vorhandensein von Mondkalendern, in denen die Zeit nach der Mondbewegung eingeteilt wird. A r i s t a r c h und H i p p a r c h (im 2. Jahrhundert v. Chr.) versuchten

die Entfernung und Größe des Mondes zu bestimmen, nachdem für andere griechische Denker der Mond ein Haufen von Steinen wie etwa die Erde war. Genaue Werte konnten aber wegen der Unvollkommenheit der Beobachtungsmethoden nicht erhalten werden. Die Mondentfernung wurde zu groß gefunden, die Entfernung Sonne-Erde viel zu klein. Das wichtigste Ergebnis dieser Untersuchungen aber war, daß damals die Trigonometrie „erfunden“ wurde.

Erst mit der Erfindung des Fernrohrs wurden genaue astronomische Messungen möglich und ebenso bedeutungsvoll war das Gravitationsgesetz *Newtons*, das die Bewegungen der Himmelskörper regelt. Die schon mit freiem Auge deutlich erkennbare Unregelmäßigkeit der Mondoberfläche konnte nun genauer untersucht werden. Sehr rasch erkannte man, daß es auf dem Mond ebenso wie auf die Erde Ebenen und Gebirge gibt und daß er uns immer nur dieselbe Seite zukehrt. Für ihn ist die Zeit eines Umlaufes um die Erde gleich der Zeit einer Umdrehung um seine Rotationsachse, er rotiert also viel langsamer als die Erde. Trotzdem können wir 59% seiner Oberfläche von der Erde aus überblicken, weil einmal der Durchmesser des Mondes kleiner als der der Erde ist und weil die auf die Erde gerichtete Achse des Mondellipsoides etwas um eine Mittellage schwankt und so einmal auf der einen und dann wieder auf

der anderen Seite einen schmalen Streifen des sonst unsichtbaren Teiles der Mondoberfläche zur Ansicht frei gibt.

Mit den heutigen optischen Hilfsmitteln können auf der Mondoberfläche Details bis zu 200 m, bei sehr günstigen Sichtverhältnissen auch bis zu 100 m Durchmesser sowie Höhenunterschiede von einigen Metern noch unterschieden werden. Das größte Beobachtungshindernis ist die Unruhe der Erdatmosphäre, nicht die mangelhafte Leistung der Optik.

Durch Satellitenbeobachtungen wurde nun auch die Rückseite des Mondes im Bilde erfaßt; sie haben uns eine Fülle neuer Details über die Struktur der Mondoberfläche gebracht. Die telemetrischen Bilder, wie sie die Kameras der Orbiterserie etwa aufnahmen, geben noch Details bis zu 0,5 m Durchmesser. Die standfesten Kameras gelandeter Satelliten lassen Gegenstände bis zu 2 mm Durchmesser deutlich erkennen. Die auf zahlreichen Mondumfliegungen gewonnenen Bilder gestatten sehr genaue Karten der Mondoberfläche zu entwerfen. Sie beruhen auf einer Kombination der Satellitenbilder mit der exakten Vermessung der irdischen Astronomen und den allein darauf beruhenden alten Mondkarten. Heute sind etwa 90% der Vorder- und 65% der Rückseite des Mondes kartographisch erfaßt. Im allgemeinen sind diese Mondkarten genauer als Karten der Erdoberfläche.

Bedeutende Beiträge zur Selenographie haben auch Arbeiten der Wiener Universitäts-Sternwarte geliefert.

Zu den wichtigsten Beobachtungsdaten gehören wohl die metrischen Größen; von ihnen seien hier zwei angeführt:

Radius des Mondes = 1738.0 km = 0.272 Radius der Erde

Masse des Mondes: =  $73,5 \cdot 10^{24}$ g = 0.0123 Masse der Erde.

Durch Satellitenmessungen konnten die Werte der drei Hauptachsen des Mondellipsoids noch etwas verbessert werden. Die übrigen metrischen Daten sind aus Bahnbeobachtungen des Mondes abgeleitet worden.

Die Masse des Mondes beträgt 1/81 der Erdmasse. Ein solches Massenverhältnis zwischen Planet und Mond ist innerhalb des Sonnensystems einmalig und bedarf einer besonderen Erklärung. Betrachtet man die Monde der äußeren Planeten, so lassen sich diese in zwei Gruppen einteilen: die inneren Monde haben meist ein Massenverhältnis von rund 1/1000, die äußeren ein solches von etwa 1/1,000.000, sind also viel kleiner. Von den inneren, erdähnlichen Planeten verfügt außer der Erde nur Mars über zwei sehr kleine Monde mit Durchmessern von 16 und 8 km, deren Massen gegenüber der Planetenmasse verschwindend klein sind.

Bei den äußeren Planeten gehören die größeren

Monde wohl zum Planeten selbst, während die kleinen Monde erst nach Bildung des Planetensystems von dem betreffenden Planeten eingefangen wurden. Das große Massenverhältnis des Erdmondes gibt einen Fingerzeig auf seine Entstehung. Denn zwei früher viel diskutierte Möglichkeiten scheiden für die Mondentstehung aus. Das große Massenverhältnis spricht ebenso gegen die Einfangtheorie, nach der die Erde den schon gebildeten Mond eingefangen haben sollte, aber auch gegen eine Abtrennung des Mondes von der Erde.

Gegen die Einfangtheorie spricht, daß bei den äußeren Planeten mit viel größeren Eigenmassen als sie die Erde besitzt, die eingefangenen Monde nur Massen von etwa  $1/1,000.000$  der Planetenmassen haben; es ist überaus unwahrscheinlich, daß die Erde mit ihrer verhältnismäßig kleinen Masse bei der Satellitenjagd umsoviel erfolgreicher gewesen sein könnte, als ihre großen Brüder Jupiter und Saturn.

Nach der von Ch. Darwin (1908) aufgestellten Gezeitentheorie ist der Mond im Jugendstadium der Erde bei der damals sehr hohen Drehgeschwindigkeit der Erde als eine zufällige Instabilität entstanden. Der Erdkörper bildete eine Art Beule aus und diese trennte sich von der Erde ab und bildete den Mond. In diesem Fall wäre der Mond ein Kind der Erde. Der Pazifische Ozean soll die Narbe auf der Erdoberfläche sein, die die

Abtrennung des Mondes hinterlassen hat. Diese Theorie hat aber zwei große Fehler. In einem abgeschlossenen mechanischen System, wie es das Paar Erde — Mond ist, müssen gewisse mechanische Größen, falls keine nachweisbaren äußeren Einwirkungen stattfanden, unverändert bleiben, gleichgültig, ob die Massen des Paares vereinigt oder getrennt sind. Bringt man im Gedankenexperiment den Mond mit seiner heutigen Bahn- und Drehgeschwindigkeit wieder zur Erde zurück und vereinigt ihn mit ihr, so würde die dabei auftretende Erhöhung der Rotationsgeschwindigkeit der Erde nicht ausreichen, die Mondablösung zu erklären. Sie wäre viel zu klein dafür. Übrigens ist nicht einzusehen, warum bei der Ablösung eines Teils der Erdmasse, wieder ein geschlossener Körper entstehen sollte. Da in der nächsten Umgebung der Erde ihre Anziehungskraft über die dem abgetrennten Teil eigene Massenattraktion weitaus überwiegt, verliert der abgetrennte Teil seinen Zusammenhalt und umgibt die Erde analog dem Saturnring als ringförmige Staub- und Gesteinswolke.

Nur eine Denkmöglichkeit bleibt übrig: Erde und Mond sind gleichzeitig entstanden (Geschwistertheorie). Sie bilden sich, ebenso wie die anderen Planeten und ihre Eigenmonde aus dem „Urnebel“, einer Gas- und Staubwolke, gleichzeitig mit dem Zentralkörper, der Sonne. In einer solchen

Nebelmasse ist einmal stets Bewegung vorhanden, überdies ist in ihr die Dichte nicht gleichförmig verteilt. Im Falle des Sonnensystems gab es nur ein Zentrum im Kern der Nebelmasse (Stelle höherer Dichte), aus dem durch Einbeziehung immer weiterer Massen durch die stets wirkende Massenattraktion sich schließlich die Sonne ausbildete. Schon vorher hatte sich in der Nebelmasse eine Rotation ausgebildet, durch die eine Umformung der ursprünglich kugelartigen Nebelmasse zu einer Scheibe erfolgte, weil eben nach Einsetzen einer Rotation die Massenattraktion in der Scheibenebene weniger wirksam war, als senkrecht dazu, weil ihr dort die Fliehkraft entgegenwirkte.

Aber nicht nur im zentralen Teil der Nebelscheibe entstand eine Massenanhäufung als Keim der zukünftigen Sonne; derartige Massenverdichtungen erfolgten auch an anderen Stellen der Scheibe und bildeten so die Urplaneten. Mit zunehmender Verdichtung trat Erwärmung ein, eine weitere und in diesem Stadium der Entwicklung des Planetensystems sehr wesentliche Energiequelle waren radioaktive Elemente, die damals viel zahlreicher vorhanden waren als heute. Die meisten von ihnen sind ausgestorben, d. h. ihre Lebensdauer war wesentlich kleiner als der Zeitraum, der sich von den Anfängen des Planetensystems bis zur Gegenwart erstreckt. Mit der Energieentwicklung beschleunigten sich auch die Entwick-

lungsprozesse. Zunächst bildeten sich durch die auftretende Strahlung und die damit verbundene Ionisation der Nebelmassen in ihr Magnetfelder aus und verwandelten diese Nebelmassen in ein Plasma, d. h. eine Sonderform der Materie, die heute noch im Weltraum vorhanden ist und die auch in unserem Sonnensystem innerhalb des interplanetarischen Raumes stets anzutreffen ist. Das Besondere an diesem Plasmazustand besteht darin, daß einmal durch das Magnetfeld verbundene Staubmassen auch ohne äußere Einwirkung beisammen bleiben müssen, und daß sie wegen der magnetischen Kraftfelder nicht beliebige Bahnen im Raum beschreiben können. Diese werden ihnen vielmehr durch das Gravitationsfeld und das Magnetfeld vorgeschrieben. Bei sehr kleinen Körpern überwiegt dabei die Wirkung des Magnetfeldes, bei großen Massenballungen hingegen die Wirkung der Massenattraktion. In großen Massenballungen ist die Ionisation in weiten Bereichen aufgehoben, die Wirkung der Magnetfelder ist daher nurmehr schwach.

Ein jeder Protoplanet wirkt in seiner Umgebung so ähnlich auf den Urnebel ein, wie die Ursonne auf den Gesamtbereich. Auch in seinem Wirkungsbereich kann es zu untergeordneten Massenverdichtungen kommen, aus denen dann seine Monde entstehen werden. In manchen Fällen kann es auch zur Ausbildung eines Doppelkerns kommen. Ein

solcher Fall könnte bei unserem Mond vorliegen, doch ist auch diese Annahme ziemlich unwahrscheinlich, weil die mittleren Dichten von Mond und Erde zu sehr verschieden sind. Für die Erde beträgt sie  $5.52 \text{ g/cm}^3$ , für den Mond hingegen nur  $3.32 \text{ g/cm}^3$ . Die größte Wahrscheinlichkeit hat die Annahme, daß unser Mond zunächst der größte unter einigen Brüdern war und diese sich einverleibt hat. In einem Plasma ist eine Beeinflussung verschiedener Plasmamassen auch auf Distanz möglich und es besteht die Möglichkeit, daß durch solche Wirkungen die Rotation äußerer Monde so herabgesetzt wurde, daß sie sich der Erde und damit dem erdnächsten Mond annähern mußten. Nach dieser Theorie wäre auch die erste Sialhülle der Erde, die mit der derzeitigen natürlich nicht ganz wesensgleich ist, ein der Erde zugewandener Anteil dieser Mondbildungsvorgänge. Es sind bis jetzt keine theoretischen Gründe bekannt, eine derartige Theorie abzulehnen. Man darf nicht übersehen, daß im Bildungsalter des Sonnensystems die physikalischen Zustände von den heutigen grundlegend verschieden waren. An der Oberfläche der Urerde konnten wohl Temperaturen herrschen, bei welchen sich Verbindungen, aus denen sich die Krustengesteine heute aufbauen, im gasförmig dissoziierten Zustand befanden und so bei Abkühlung als flüssiger Gesteinsregen die Erdoberfläche erreichten.

Bei einer solchen Bildungsweise läßt sich die kleinere Dichte des Mondes zwanglos erklären, weil in den äußeren Bereichen des Protoplaneten, aus dem sich die Erde und ihre Monde bildeten, eben die Dichte geringer war, als in den inneren Teilen.

Wir müssen uns hier gleich noch mit einer Eigenschaft des Mondes beschäftigen, in der er sich von der Erde unterscheidet. Denken wir uns eine Kugel von überall gleicher Dichte, so ist ihr Trägheitsmoment gegeben durch  $0.4 M.a^2$ , wobei  $M$  die Gesamtmasse der Kugel und  $a$  ihren Radius bedeutet. Ist aber diese Kugel so beschaffen, daß ihre Dichte außen geringer ist und nach dem Mittelpunkt der Kugel zunimmt, dann wird der Zahlenfaktor kleiner als 0.4. Sowohl den Mond als auch die Erde darf man für solche Rechnungen als Kugeln betrachten. Der Fehler, den man dabei begeht, ist unter einem Promille. Für die beiden Himmelskörper ergeben sich die folgenden Werte:

Erde: 0.334

Mond: 0.397

Von der Erde ist aus Messungen die starke Zunahme der Dichte nach Erdinnern bekannt. Für den Mond aber ergibt sich, daß bei ihm die Dichte annähernd konstant sein muß. Nur in seinem Zentrum könnte vielleicht ein sehr kleiner Kern mit Massen höherer Dichte vorhanden sein. Der Aufbau des Mondes ähnelt daher nicht dem der Erde. Die-

ses Ergebnis ergibt sich übrigens aus astronomischen Beobachtungen allein und war natürlich schon vor Beginn der Satellitenforschung bekannt.

Ist in einem Himmelskörper die Dichteverteilung bekannt, so läßt sich daraus auch die Druckverteilung berechnen. Unter Annahme einer mittleren Dichte des Mondes von  $3.32 \text{ g/cm}^3$  ergibt sich der maximale Druck, der im Mittelpunkt erreicht wird, zu 47 Kilobar. Auf der Erde findet sich dieser Druck schon in einer Tiefe von 150 km, während im Mittelpunkt der Erde ein Druck von 3.7 Megabar herrscht, was einem Druck von fast 3.8 Millionen Atmosphären entspricht. Bei so hohen Drücken treten sehr wesentliche Modifikationen in der Struktur der Stoffe auf. Solche Wirkungen sind aber im Mondkörper nicht zu erwarten.

Die Beobachtung der Satellitenbahnen bei Mondumkreisungen haben nun unsere Kenntnisse über die Beschaffenheit des lunaren Schwerfeldes wesentlich erweitert. Der Mond zeigt an seiner Oberfläche zwei verschiedene Bereiche: die Maria und die Terrae. Die Maria sind dunkler gefärbt, verhältnismäßig glatt und enthalten nur wenige Krater. Die Terrae sind hell gefärbt, haben eine sehr bewegte Oberfläche mit vielen Kratern und Gebirgen. Die aus den Satellitenbahnen berechnete Schwereverteilung zeigt nun, daß sich im Bereich der Maria große positive Schwerestörungen befinden, d. h. sie sind Stellen erhöhter Anziehungs-

kraft, wodurch über diesen Gebieten eine Senkung der Satellitenbahn um mehrere Meter bewirkt wird. Diese Schwerestörungen lassen darauf schließen, daß sich unterhalb der Maria in etwa 50 km Tiefe Körper höherer Dichte mit einem Durchmesser von 30—60 km befinden. Dies stützt die Annahme, daß der Mond aus einer Zusammenballung kleinerer Himmelskörper entstanden sein könnte. Diese hier nachgewiesenen schweren Körper können nur die Bruchstücke eines größeren Himmelskörper sein, die beim Aufprall auf den damaligen Mondkörper wesentliche Strukturänderungen erzeugen mußten. Diese müssen sich im Oberflächenbild, im „Antlitz“ des Mondes auffinden lassen. Bevor jedoch die Oberflächenstruktur des Mondes beschrieben und erläutert werden soll, sind noch einige Vorbemerkungen erforderlich.

Der wesentliche Unterschied zwischen den Oberflächen von Erde und Mond besteht darin, daß die Oberfläche der Erde sehr rasch veränderlich ist; auf sie wirken die exogenen Kräfte (Strahlung, Wirkung von Atmosphäre und Meer) ebenso ein, wie die endogenen (tektonische Kräfte, Vulkanismus). Diese Kräfte sind auf dem Mond vergleichsweise nur mehr rudimentär vorhanden. Die Mondoberfläche wird nicht von der atmosphärischen Verwitterung betroffen, sondern nur durch intensive Strahlung und rasche große Temperaturschwankungen. Die endogenen Kräfte sind auf dem

Mond klein, weil er wegen seiner viel kleineren Masse auch ein wesentlich kleineres Energiereservoir besitzt als die Erde. Man vergleiche nur die gewaltigen Unterschiede im Druckfeld der beiden Himmelskörper. Seine Oberfläche hat sich im Verlauf seiner Entwicklung nur wenig verändert; die Veränderungen sind vorwiegend durch das Wirken äußerer Einflüsse entstanden, vor allem durch den Meteoritenaufprall. Sicherlich wurde die Erde nicht weniger oft von solchen Ereignissen betroffen, doch bestehen gegenüber dem Mond zwei wesentliche Unterschiede: sie verfügt über die Schutzwirkung ihrer Atmosphäre und die Wirkungen dieser Ereignisse werden durch die Tätigkeit der Verwitterung rasch zerstört.

Ein weiterer wesentlicher Unterschied zwischen der Erde und dem Mond besteht darin, daß die ausgedehnte und dichte Atmosphäre der Erde sie gegen aufschlagende Meteore weitgehend schützt. Beim Eintreten in die Lufthülle hat ein Meteorit meist ein Vielfaches der Schallgeschwindigkeit (0.3 km/sec gegen etwa 10—60 km/sec). Er wird durch den ungeheuren Luftwiderstand teilweise zerstört oder ganz aufgelöst und büßt den größten Teil seiner Energie beim Durchqueren der Atmosphäre ein. Nach dem Fall des Tunguska-Meteors in Sibirien am 30. Juni 1908 umkreiste eine Luftdruckwelle mehrfach die Erde. Erst nach fast drei Tagen kam die Atmosphäre wieder zur Ruhe. Die

Erde ist also gegen das unmittelbare Bombardement kosmischer Körper sehr gut geschützt. Große Körper werden schon im Schwerefeld der Erde in kleinere Teile aufgelöst und diese können nur unter günstigen Umständen die Erdoberfläche erreichen. Vielfach werden sie schon in der Atmosphäre aufgelöst und erreichen nur als Staub die Erdoberfläche. Kleine Meteorite aber bremst die Lufthülle so stark ab, daß sie den größten Teil ihrer Energie schon vor dem Aufprall verloren haben.

Dies alles gilt für den Mond nicht. Mit unverminderter Schnelligkeit und damit auch mit unverminderter Wucht erreichen dort die kosmischen Geschosse die Mondoberfläche. Es gibt aber auch keine exogenen Kräfte der Verwitterung, die die einmal geschlagenen Narben zum Verschwinden bringen könnte, wie dies auf der Erde in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle eingetreten ist.

Nach diesen Vorbemerkungen wollen wir nun die Strukturen der Mondoberfläche näher betrachten. Wir finden dort vor die helleren, narbenübersäten Gebiete der Terrae und die dunkleren, glatten nur von wenigen Kratern durchfurchten Oberflächen der Maria. Diese haben ihrerseits an vielen Stellen deutlich erkennbar, frühere Krater „überflutet“. Eine eingehende Untersuchung hat gezeigt, daß es zwei verschiedene Formen von Kratern gibt, solche exogenen Ursprungs, die Aufsturz-

krater, und die durch das Wirken endogener Kräfte entstandenen vulkanischen Krater, die meist den Entgasungskratern des irdischen Vulkanismus entsprechen. Aufsturzkrater haben immer buckelige Ränder (Randgebirge), sind in ihrer Umgebung meist von Zweiteinschlägen begleitet. Hingegen haben die maareähnlichen Vulkankrater glatte Ränder und sind vereinzelt.

Entgasungsvulkanismus wurde auch jetzt noch auf dem Mond beobachtet. Beobachtungen aus der USA und der UdSSR sowie der BRD haben in den Jahren 1956—59 im Bereich des Kraters Alphon-sus deutlich das Vorhandensein solcher Gasausbrüche (Aufwirbeln des Mondstaubes, der sich wegen der geringen Schwerkraft nur langsam wieder setzt) bewiesen. Bei Gasaustritten ergeben sich auch eigentümliche Brechungserscheinungen in den austretenden Gasmassen. Die Mondsonde Ranger 9 landete übrigens im Bereich dieses Kraters, allerdings nach Aufhören der Gaseruption. Der Kraterreichtum der Terraebereiche würde sich zweifellos auch unterhalb der glatten Mareflächen vorfinden, durch die der ursprüngliche Boden zweifellos überdeckt wurde. Man muß daher annehmen, daß die Maria jüngere Bildungen sind, als die Terrae. Dafür spricht auch die verschiedene Färbung. Surveyor-Sonden haben oberflächliche Untersuchungen über die Zusammensetzung und Beschaffenheit des Oberflächengesteins mit Hilfe

automatisch arbeitender Bagger und mit Hilfe von Absorption und Reflexion verschiedener Strahlung durchgeführt. Solche Untersuchungsmethoden sind bei der Gesteinsuntersuchung in Bohrlöchern weitgehend erprobt.

Man hat so gefunden, daß auch auf dem Mond die häufigsten Elemente Sauerstoff O und Silizium Si in der Form ihrer einfachen Verbindung  $\text{SiO}_2$  sind. Zwischen den Gesteinen der Maria und der Terrae besteht eigentlich nur bezüglich des Eisengehaltes ein kleiner Unterschied: die Maria enthalten etwas mehr Eisen Fe. Das Gestein der Maria entspricht ungefähr in seiner Zusammensetzung den Deckenbasalten auf der Erde. Hingegen finden sich keine Spuren von sialischen Gesteinen auf dem Mond. Eine eigentliche Kruste wurde also auf ihm nicht ausgebildet. Dies ist erklärlich, weil die Sial-Schale wohl in der Hauptsache wieder mit der Tätigkeit der Verwitterungskräfte zusammenhängt. Wir finden im Bereich der Erdoberfläche nur 10% Sedimentgestein, hingegen 90% Ergußgesteine. Wären die endogenen Kräfte der Erde nicht so stark, so müßte sie natürlich wegen ihres hohen Alters ausschließlich von Sedimenten bedeckt sein. Diese werden aber immer wieder in den tieferen Schichten der Erdkruste in den Stoffwechselprozeß der Erde einbezogen und erreichen später wieder als sialisches Ergußgestein die Oberfläche. Dieser Kreislauf fehlt auf dem

Mond, da es auf ihm niemals zur Bildung von Sedimenten kam.

Die dunklere Färbung der Maria hängt wohl in erster Linie damit zusammen, daß sie kürzere Zeit der Wellen- und Korpuskularstrahlung der Sonne ausgesetzt waren als die Oberflächen der Terrae. Die Strahlung der Sonne ist aber auf dem Mond bzw. seiner Oberfläche die wichtigste exogene Kraftquelle. Hier wirken alle Strahlungsarten ungeschwächt und nicht durch die Lufthülle der Erde gebremst und geschwächt. Durch die Schutzwirkung der Atmosphäre und auch des irdischen Magnetfeldes erreichen viele Strahlengattungen die Erdoberfläche überhaupt nicht mehr, so die besonders energiereiche, kurzwellige Ultraviolett-Strahlung, die Röntgen- und  $\gamma$ -Strahlen, sowie praktisch die gesamte korpuskulare Strahlung. Die Mondoberfläche ist aber allen diesen Strahlenarten voll ausgesetzt. Was dies im einzelnen bedeutet, ist noch nicht aufgeklärt.

Die bisherigen Messungen haben ergeben, daß der Mond kein Magnetfeld hat. Ein ganz schwaches Feld, das aber kaum von praktischer Bedeutung ist, kann nicht ausgeschlossen werden. Es hätte etwa die Größenordnung der magnetischen Felder, im Plasma des Sonnenwindes (der Korpuskelstrahlung der Sonne) und könnte durch diesen vorgetäuscht werden. Schutzwirkung käme einem solchen Feld aber nicht zu.

Auch die Farben auf Mondphotos müssen anders beurteilt werden als bei irdischen Aufnahmen. Die Mondoberfläche erhält ausschließlich direktes Sonnenlicht, auf der Erde ist aber niemals die zusätzliche Wirkung des Streulichtes an den Luftmolekülen (Himmelsstrahlung) auszuschließen. Es gibt also auch keine absoluten Schlagschatten, weil immer Streulicht vorhanden ist, das aber auf dem Mond fehlt. Bei gleichem Gesteinsmaterial sind daher die Oberflächenfarben verschieden und auch bei verschiedenen Sonnenständen kann die Färbung des gleichen Materials auf dem Monde stärker variieren als auf der Erde.

Ein Selenologe — das Gegenstück zum irdischen Geologen — würde also aufgrund der uns bekannten Tatsache etwa folgendermaßen die Entwicklung des Mondes beschreiben. Während des eigentlichen Bildungsstadiums tritt zunehmende Erwärmung auf, die aus der freiwerdenden Kontraktionstheorie und der Heizwirkung der zahlreichen, damals noch aktiven, kurzlebigen Isotope verschiedener Elemente gespeist wurde. Man kann annehmen, daß der Mond damals aus fluidem, bzw. säkularflüssigem Material bestand. Diese Zeit war für ihn wesentlich kürzer als für die Erde wegen seiner viel geringeren Masse. Es trat dann zunehmende Verfestigung ein; in diesem Stadium wurden die Terrae an der Oberfläche ausgebildet. Doch war das System der damals die Erde umge-

benden Wolke von Massen verschiedenster Größe nicht stabil. Diese Körper fielen daher sowohl auf die Erde als auf den Mond. Der Mond war damals einem überaus heftigen Bombardement durch große Meteore ausgesetzt. Damals haben sich die meisten der heute noch sichtbaren Aufsturzkrater gebildet. Beim Einsturz besonders großer Körper, deren Existenz heute noch im Bereich der Maria nachweisbar ist, wurde den säkularflüssigen Massen des Mondinneren soviel Energie zugefügt, daß sie wieder aktiv wurden und an der Mondoberfläche bei ihrem Austritt die großen Lavaseen der heutigen Maria bildeten. Es ist sehr wahrscheinlich, daß diese Vorgänge sich zu einer Zeit ereigneten, da die Erde noch keine starre Kruste besaß; sonst hätten diese Aufstürze gewaltiger Meteore im Krustenbau deutliche Spuren hinterlassen müssen. Und die Erde war dem Bombardement mit größerer Heftigkeit ausgesetzt als der Mond wegen ihres viel stärkeren Gravitationsfeldes.

Nach Aufhören des Bombardements war die Umgebung des Systems Erde-Mond frei von größeren Massen. Aufstürze größerer Meteore erfolgten nunmehr selten. Die Oberfläche der Maria sind dafür bezeichnend. Auf ihnen finden sich nur wenige Aufsturzkrater beträchtlicher Größe. Aber auch bei vereinzelt Einschlägen kann es noch Lavaaustritten, zur Bildung kleiner Lavaseen am Boden der Aufsturzkrater kommen. Allmählich

aber kommt es zu einem Erlöschen dieser Art von endogener Kraftäußerung. Übrig bleibt der Gasvulkanismus, dessen Existenz auch heute noch beobachtet wird. Eine Parallelisierung selenologischer Vorgänge mit geologischen wird erst nach Auswertung aller vom Mond gehaltenen Gesteinsproben möglich sein, vor allem brauchen wir dazu möglichst zuverlässige Altersbestimmungen. Die Entwicklung des Mondes erfolgte in einem rascheren Tempo als die der Erde, weil seine Energiequellen entsprechend bescheidener waren wegen der viel kleineren Masse. Aber er ist trotzdem nur ein scheinbar „toter“ Himmelskörper. Von wesentlicher Bedeutung ist, daß die Mondoberfläche viele Entwicklungsabläufe festgehalten hat, die auf der Erde entweder durch die Tätigkeit der Verwitterung nicht festgehalten werden konnten oder wegen der Schutzwirkung der Atmosphäre anders oder nur sehr abgeschwächt abliefen.

Trotz des vollkommenen Mangels einer Atmosphäre ist das Vorkommen von Wasser in der Nähe der Mondoberfläche wahrscheinlich. Daß Eis auch im leeren interplanetarischen Raum existieren kann, zeigten Untersuchungen von Kometenköpfen, die nach den Ergebnissen der von ihnen ausgesandten Strahlung sicherlich Eis enthalten. Astronomen haben sie daher etwas geringschätzig als „schmutzige“ Schneebälle bezeichnet. Ebenso kann sich auf dem Mond in verhältnismäßig geringer

Tiefe eine Eisschicht und unter ihr möglicherweise auch flüssiges Wasser befinden. Gewisse Erscheinungen deuten daraufhin, daß hie und da das Wasser auch die Mondoberfläche erreichen kann. Man findet Strukturen auf dem Mond, die Wasserläufen ähneln. Ein bekanntes Beispiel ist das Alpental. Eine mäanderförmige Rille schlängelt sich über 300 km durch den Talboden und erinnert an Bett eines Wüstenflusses. Man kennt heute aus Satellitenaufnahmen etwa fünfzig solcher Rillen.

Diese „Flußtäler“ des Mondes entspringen fast immer in kleinen Kratern. Nun kann freies Wasser auf der Oberfläche des Mondes nicht dauernd existieren; einmal ist ein perfektes Vakuum vorhanden und während des Mondtages liegen die Temperaturen an der Oberfläche weit über dem Siedepunkt des Wassers. Wenn es aus dem Mondboden austräte, müßte es sofort verdampfen.

Durch den Aufsturz eines Meteors wird an der Einschlagstelle momentan eine sehr große Energiemenge frei, es kommt auch zu beträchtlichen, Druckänderungen unterhalb der Einschlagstelle. Ist aber dort eine Eisschicht und darunter Wasser vorhanden, so kann es doch zum zeitweiligen Fließen eines eisbedeckten Schlammstromes von etwa 100 m Breite kommen. Das würde zur Erklärung der beobachteten „Flußstrukturen“ genügen. Im vulkanischen Geschehen wird die Erde immer weiter entgast und gibt dabei auch beträchtliche Mengen von

Wasserdampf bezw. von juvenilem Wasser ab. Da der Gasvulkanismus auch heute noch auf dem Mond tätig ist, wird auch heute noch Wasserdampf abgegeben und könnte zur Ausbildung einer Eisschicht unterhalb der Mondoberfläche geführt haben. Mangels eines Schutzes gegen Ausstrahlung durch eine Atmosphäre werden in einer bestimmten Tiefe konstant niedrigere Temperaturen vorhanden sein. Das Wasser würde in diesem Bereich wie in einer Tiefkühltruhe konserviert werden.

Wir können auf der Mondoberfläche keine so großräumigen Störungen und Verwerfungen feststellen wie auf der Erde. Das hängt mit der geringeren endogenen Aktivität des Mondes zusammen. Interessante Strukturen finden sich im Übergangsbereich zwischen Terrae und den Maria.

Die meisten neueren Erkenntnisse verdanken wir automatischen Raumsonden. Besonders wertvoll waren die Beobachtungen durch die weich gelandeten Mondsonden der sowjetischen Luna-Serie (L 9 und L 13) und der amerikanischen Surveyor-Serie (S 1, 3, 5, 6, 7) sowie durch die Photo-Beobachtungen der amerikanischen Orbiter-Serie, bei der die Sonden den Mond nur umkreisten.

Die Landung von Menschen auf dem Monde hat bis jetzt unser Wissen noch nicht sehr erheblich vermehrt. Dazu wäre auch eine viel größere Zahl von Landungen erforderlich, um auch nur die drängendsten Probleme einigermaßen klären zu

können. Ihre wesentlichste Aufgabe bestand darin, zunächst einmal die große Frage zu beantworten: Kann der Mensch auf dem Mond existieren und kann er unter den extremen Verhältnissen der Mondoberfläche überhaupt Arbeit leisten? Diese Fragen müssen zuerst geklärt werden. Ist die Antwort positiv, dann steht einer „Besiedelung“ des Mondes nichts im Wege. Bei entsprechendem Energieaufwand können Hohlräume unter Oberfläche bewohnbar gemacht werden, da man sowohl Sauerstoff, als auch Wasser gewinnen kann. An der erforderlichen Energie würde es auch nicht fehlen, da man einerseits die Sonnenenergie zur Verfügung hätte, andererseits aber die Lösung solcher Aufgaben die beste Verwertung der in den Atombombenvorräten gespeicherten Energiemengen ergeben würde.

Observatorien auf dem Mond wären aber nicht nur für den Astronomen für die Erforschung der Vorgänge im Kosmos von größter Bedeutung, weil auf dem Mond alle Wellenlängenbereiche gleich gut erfaßt werden könnten, von ihm aus würden auch viele irdische Vorgänge im Bereich der niederen und der hohen Atmosphäre besser beobachtet werden können, als von der Erde selbst. Die Überwachung der Sonnentätigkeit und des Sonnenwindes, die Prognose von Sonnenstürmen wären leicht durchführbar. Dies alles wäre dem Men-

schen heute schon möglich, wenn die beiden großen Technokratien der Erde ihre Anstrengungen in friedlicher Weise zur Erreichung solcher Ziele zusammenfassen würden.