

die Finsternisse sehr wohl auch in anderen zeitlichen Abständen aneinanderreihen und so andere Zyklen bilden. Geht man z.B. von 939 synodischen Umläufen des Mondes aus, was 1019 drakonitischen Umläufen entspricht, so würde man einen Zyklus erhalten, der sich viel länger hält und in dem sich mit jeder Wiederkehr seiner Finsternisse die Sichtbarkeitszone weniger stark verlagert hat.

Abb. 38. - Eine Finsternisfamilie in einem Saroszyklus. Die zwölf Finsternisse, deren Totalitätszonen hier dargestellt sind, gehören zu einer Familie und folgen nach je einer Sarosperiode aufeinander. Die Verschiebungen in geographischer Länge und Breite sind klar ersichtlich.

# X Die Gezeiten

Von allen Völkern der Erde wird seit eh und je dem Mond ein Einfluß auf die Erde und ihre Bewohner zugeschrieben. Bei uns sind viele Leute davon überzeugt, daß das Wetter vom Monde, genauer gesagt von den Mondphasen, abhängt. Aber kein Gelehrter hat jemals diese Ansicht, wenigstens so, wie sie im allgemeinen vertreten wird, unterstützt. Im Gegenteil, es läßt sich ein geradezu vernichtendes Argument geltend machen, um diese Meinung mattszusetzen. Die Mondphasen sind nämlich in jedem Augenblick die gleichen für die ganze Erde. Kann der gesunde Menschenverstand annehmen, daß sich zur gleichen Zeit, in der eine Mondphase wechselt, auch das Wetter überall auf der Erde ändert? Eine solche Ansicht wäre doch geradezu widersinnig. In Frankreich existiert außerdem die Ansicht, daß die jungen Triebe im Frühjahrsmond gebleicht werden, was natürlich auf den Frost bei nächtlichem Aufklaren zurückzuführen ist, nicht auf den Mond, der dann zwar nicht mehr hinter den Wolken verborgen bleibt, dessen Licht aber keineswegs die Schuld an dem Schaden hat, die ihm der Bauer zuschiebt.

Wenn man auch über manchen der Einflüsse, die dem

Monde zugeschrieben werden, streiten kann, einer von ihnen ist über jede Diskussion erhaben: Das ist der Einfluß, der die Gezeiten herbeiführt. Es ist heute ein Allgemeinut des Wissens, daß sich Erde und Mond gegenseitig anziehen; die Gezeiten sind die unmittelbare Auswirkung davon. Allerdings meinen sehr viele, daß das Ansteigen des Meeres an einem bestimmten Ort der Küste nur darauf zurückzuführen ist, daß der Mond zur gleichen Zeit darüber hinweggeht. Hingegen tritt das Ansteigen und Sinken des Wasserspiegels täglich zweimal ein, indessen der Mond auf seinem Umlauf um die Erde im Verlaufe von 24 Stunden nur einmal am Himmelsgewölbe vorüberzieht. Um es anders auszudrücken: während die Flut auf der einen Hälfte der Erde, für die der Mond am Himmel steht, eintritt, setzt sie auch in gleicher Weise bei unseren Antipoden ein, also bei den Erdbewohnern, die von uns auf der Erde am weitesten entfernt sind. Damit zeigt sich, daß das Problem der Gezeiten nicht so einfach ist, wie man zunächst annehmen möchte. Man muß sich zu ihrem Verständnis gewisser Besonderheiten, die die gegenseitigen Bewegungen von Erde und Mond kennzeichnen, erinnern.

## Die Gezeitenbewegungen

Es wurde bereits dargelegt (Abb. 8), daß sich die zwei Weltkörper Erde und Mond um ihr gemeinsames Schwerezentrum bewegen. Obwohl der von diesem Zentrum ausgehende Fahrstrahl, welcher die von der Erdmitte in jeder Lunation beschriebene Bahn anzeigt, äußerst klein ist, zeigen sich trotzdem die Folgen dieser Bewegung um den gemeinsamen Schwerpunkt. Außerdem wurde oben bereits am Beispiel des Verhaltens unseres Erdsatelliten nachgewiesen, daß eine Umlaufbewegung zwei Komponenten umfaßt, von denen die eine in der Richtung der jeweiligen Bahntangente wirkt und dem Umlaufkörper vermöge seines Beharrungsvermögens eine geradlinige Bahn aufzwingen möchte, während die andere nach dem Umlaufzentrum gerichtet ist und ihn zufolge der gegenseitigen Anziehungskraft beider Körper nach dem Schwerezentrum hinzuziehen sucht. Diese zweite Komponente ist es, die den Satelliten regelrecht hinunterfallen läßt. Dieser Ausdruck soll ein wirkliches und ununterbrochenes Fallen kennzeichnen, das allerdings in jedem Augenblick durch das Wirken der ersten Komponente ausgeglichen wird. Ebenso wie der Mond ständig eine solche Fallbewegung ausführt, fällt auch die Erde ständig nach einem bestimmten Punkte, nur ist dieses Fallen für die Erde im gleichen Maße geringer, in dem sie mehr Masse umfaßt als der Mond.

Jeder fallende Körper unterliegt dem Newtonschen Schwerkraftgesetz. Ist es ein fester Körper, so führt er als Ganzes die gleiche Bewegung aus wie sein Massenzentrum, ist er aber flüssig, so wird er beim Fallen verformt. Das Newtonsche Schweregesetz besagt, daß die Anziehungskraft umgekehrt proportional dem Quadrate der Entfernung ist, über die sie sich auswirkt; demzufolge sind die verschiedenen Teile eines sehr ausgedehnten Körpers nicht im gleichen Maß von der Schwerkraft beeinflusst. Die dem Schwerezentrum näheren Teile werden stärker, die ihm ferneren schwächer angezogen. Wirkt die Schwerkraft auf

einen nicht starren und anfangs kugelförmigen Körper ein, so verlängert er sich in der Schwerkraftsrichtung und nimmt eine ellipsoidische Gestalt an. Versteht man unter den unteren Teilen der Fallinie die dem Schwerezentrum näheren und unter den oberen die entfernteren, so läßt sich sagen, daß sich die unteren Teile des nichtstarrten Fallkörpers bei der Verformung ebenso vom Mittelpunkt entfernen, wie die oberen es tun. Die ersteren eilen ein wenig voraus, die letzteren bleiben ein wenig zurück. Das Ausmaß dieser Verformung hängt nicht von der absoluten Größe der Schwerkraft ab, sondern von dem Unterschied der auf die verschiedenen Punkte des Fallkörpers einwirkenden Kräfte (Abb. 39).

Sehr leicht läßt sich das Verhalten der Einzelteile eines flüssigen Körpers, der einer Schwerkraft unterworfen ist, verstehen, wenn man ein einfaches Experiment durchführt: Mittels zweier Gummibänder bindet man drei Kugeln aneinander, so daß sie in einer geraden Linie liegen. An einer der beiden äußeren wird ein Faden befestigt. Das freie Fadenende nimmt man in die Hand und schleudert das Ganze herum, daß es Kreise um die Hand beschreibt (Abb. 40). Unter der Wirkung der Fliehkraft dehnt sich der Gummi aus, und die beiden äußeren Kugeln streben von der mittleren sichtlich fort. Genauso verhalten sich die Moleküle eines flüssigen Körpers in einem Raume, in dem die Schwerkraft in einer Richtung wirkt; die mittlere Kugel unseres Versuches ist den zentralen Flüssigkeitsteilchen gleichzusetzen, und die beiden äußeren Kugeln verhalten sich wie die oberflächennahen Teile.

Die Kraft, die unsere Erde fallen läßt, bewirkt auf den Erdmeeren dasselbe wie die Schwerkraft, die auf den Flüssigkeitskörper einwirkt. Stellt man sich vor, die Erde sei gänzlich von Wasser bedeckt, so würden sich ohne weiteres zwei Wasserwülste bilden. Auf der Mondseite würde das Wasser ebenso ansteigen wie auf der ihm gegenüberliegen-

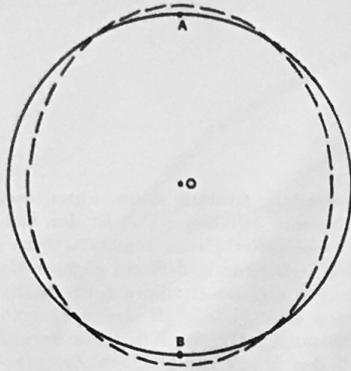


Abb. 39. - Verformung eines flüssigen Körpers beim Fall. Zunächst habe der Körper Kugelgestalt. Der Punkt B ist dem Erdzentrum näher und unterliegt der stärksten Anziehung. Der Punkt O wird weniger und A am wenigsten angezogen. Beim freien Fall verformt sich der Körper, weil er nicht starr ist. Die Verlängerung hängt von der unterschiedlichen Kraftwirkung ab und führt zur ellipsoidischen Form.

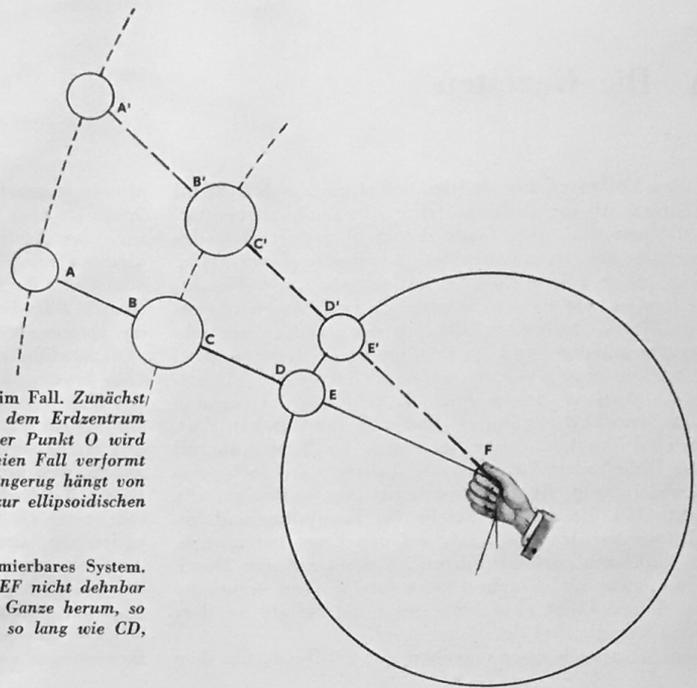


Abb. 40. - Wirkung der Fliehkraft auf ein deformierbares System. Die Bänder AB und CD sind elastisch, während EF nicht dehnbar ist. Hält man F in der Hand und schleudert das Ganze herum, so werden die elastischen Bänder gedehnt. War AB so lang wie CD, so ist auch A'B' nahezu so lang wie C'D'.

den Erdseite. Diese beiden Hochwasser-Flutberge können sich nur im gleichen Ausmaße ausbilden, in dem sich die zwischen ihnen liegenden Wassermassen senken und dort die Täler des Niedrigwassers entstehen lassen. Folgen nun

die Gezeiten dem Umlauf des Mondes um die Erde und vollendet unser Erdsatellit seinen Umlauf in 24 Stunden 50 Minuten, so kommen offensichtlich die Gezeiten alle 12 Stunden 25 Minuten wieder.

### Spring- und Nippfluten

Der Mond ist nicht der einzige Himmelskörper, der die Erde anzieht; gleichermaßen wirkt auch die Sonne auf die Erde ein. Auf den ersten Blick hin könnte es den Anschein haben, daß die letztere Wirkung die erste übertrifft. Aber dem ist nicht so; erstens ist die Entfernung, die uns von der Sonne trennt, unvergleichlich größer als die vom Mond, zweitens spielt nicht die absolute Größe der anziehenden Kraft die entscheidende Rolle, sondern nur der Unterschied in den Wirkungen auf die äußersten und inneren Teile des angezogenen Körpers. So kommt es zustande, daß die Anziehung durch den Mond 2,2mal stärker ist als die seitens der Sonne.

Wirken so die beiden Himmelskörper ununterbrochen auf die Erde ein, so ändert sich auch die erreichte Wirkung innerhalb weiter Grenzen, je nachdem Sonne und Mond

die eine oder andere Stellung zueinander am Himmel einnehmen. Schemen wir von der Erde aus Sonne und Mond in der gleichen oder in zueinander entgegengesetzter Richtung, so summieren sich ihre Wirkungen. Der Gezeitenhub zur Zeit der Syzygien, also des Vollmondes oder Neumondes, ist deshalb besonders groß; dieses hohe Ansteigen des Meeresspiegels nennt man Springflut (Abb. 41). Stehen dagegen Sonne und Mond in Quadratur zueinander, so widerstreiten ihre Wirkungen einander, und der Anstieg ist gering. Dann spricht man von Nippflut (Abb. 42).

Die Höhe der Gezeiten hängt aber auch von anderen Ursachen ab, so von dem Winkel, den die Bahnebenen von Sonne und Mond und die Ebene des Erdäquators miteinander bilden. Je mehr Sonne und Mond dem letzteren nahekommen, desto heftiger ist ihre Wirkung auf die

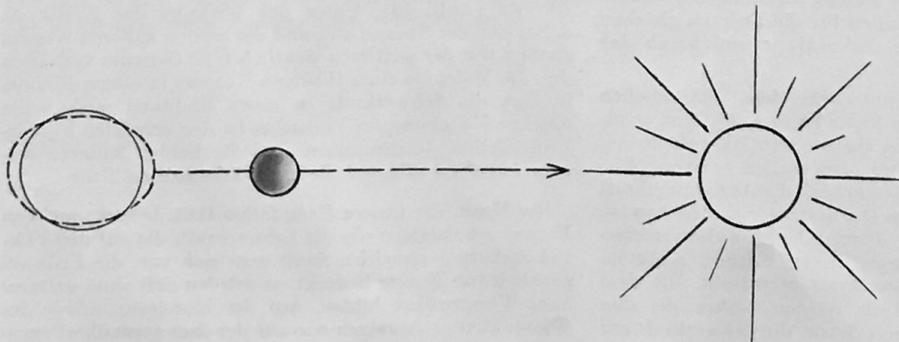


Abb. 41. - Schematische Darstellung der Springflut. Sonne und Mond stehen von der Erde aus gesehen in der gleichen Richtung (Neumondstellung). Beider Kräfte wirken in gleicher Richtung, und die Springflut erreicht ihre größte Höhe. Das gleiche tritt bei Vollmond ein, weil dann Sonne und Mond zwar in entgegengesetzter Richtung stehen, aber ihre Kräfte die gleichen Flutberge erzeugen.

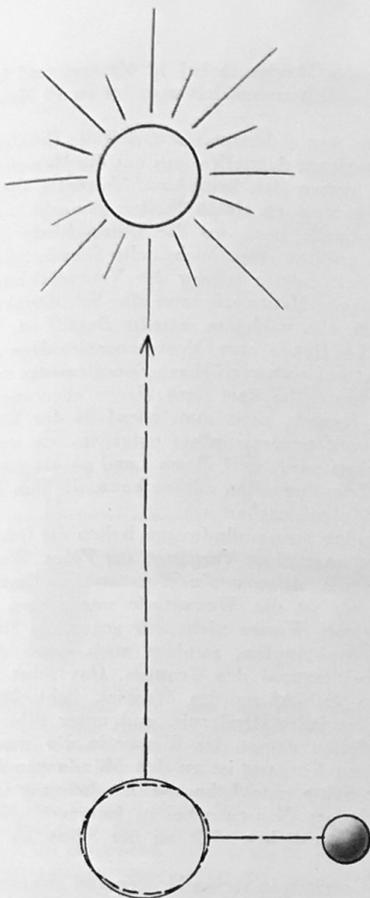


Abb. 42. - Schematische Darstellung der Nippflut. Sonne und Mond stehen hier von der Erde aus gesehen in zueinander senkrechten Richtungen. Wirken sie gleichstark auf die Erde ein, so käme jetzt keine Flut zustande. Da die Anziehung des Mondes die der Sonne um das 2,2fache übertrifft, entsteht eine schwache Flut.

Wassermassen unserer Ozeane. Wenn dann zur Zeit der Äquinoktien die scheinbare Sonnenbahn am Himmel mit dem Himmelsäquator zusammenfällt und wenn gleichzeitig der Mond von ihm nicht fern steht, steigt das Meeressniveau in den Gezeiten der Äquinoktien höher als gewöhn-

lich. Ebenso ist die Wirkung, die der Mond auf die Wassermassen der Ozeane ausübt, im gleichen Maße größer oder kleiner, wie sich seine Entfernung von uns ändert; erreicht der Mond das Perigäum seiner Umlaufbahn, so sind die Gezeiten stärker, als wenn er sich im Apogäum befindet.

### Die Gezeiten in Theorie und in Wirklichkeit

Die allgemeinverständliche Theorie der Gezeiten, wie sie im vorhergehenden dargelegt worden ist, setzt voraus, daß die Erde gänzlich von dem Wasser der Ozeane bedeckt ist. Die geographischen Gegebenheiten unserer Erde sind jedoch davon gänzlich verschieden, und deshalb sind die Gezeiten nicht nur für die Astronomie, sondern auch für die Hydrodynamik ein Problem. Demzufolge sind die Gezeitenwirkungen in den verschiedenen Meeresteilen nicht nur mehr oder weniger anders, sondern sie stehen zuweilen sogar in unverhülltem Gegensatz zu den Folgerungen, die aus theoretischen Überlegungen folgen.

Der Mond eilt in seiner scheinbaren täglichen Bewegung von Osten nach Westen über den Himmel und vollendet in 24 Stunden 50 Minuten je einen Umlauf. Der von ihm angehobene Wasserwulst ist gezwungen, sich längs der Erdoberfläche in gleichem Umlaufsinn und mit der gleichen Geschwindigkeit fortzupflanzen. Aber die so erzeugte Gezeitenwelle muß sich durch ganz verschiedene, mehr oder weniger schmale und tiefe Meerengen hindurchzwängen. Das ist eine ganz selbstverständliche Folge der ungleichmäßigen Gestaltung der Erdkontinente, die der ungehinderten Ausbreitung der Gezeitenwelle recht viele

Hindernisse entgegensetzen. Die Rotation der Erdmassen, in denen die Wassermengen unserer Ozeane lagern, die Reibung des Wassers an seichten Meeresböden und ihre innere Reibung verursachen gleichfalls ernsthafte Bremswirkungen. Nimmt man an, daß die Wassermassen der Ozeane nicht ständig wirkenden Kräften folgen, sondern daß ihre Oberfläche immer im Gleichgewicht ist mit den Anziehungskräften, so lassen sich die Gezeiten nur für die Mitten der Ozeane erklären.

In Wirklichkeit ist die Anziehungskraft, die die Wassermassen unserer Erde anhebt, außerordentlich schwach. Berechnungen ergeben, daß die Wirkung des Mondes eine Hebung des Wasserspiegels von höchstens 54 cm herbeiführt, während die Wirkung der Sonne nur 25 cm hervorruft. Demnach dürfte bei Springfluten der gesamte Höhenunterschied des Wasserspiegels 79 cm nicht übersteigen. Diese verblüffende Feststellung wird später noch geprüft werden; die genannten Zahlengrößen werden sogar noch nicht einmal in der Mitte der Ozeane erreicht; so beträgt z.B. in Honolulu die größte Steighöhe 50 cm.

Gänzlich anders liegen die Dinge in der Nähe der Küsten. Wird die Flutwelle in ihrer ursprünglichen Bewe-

gung behindert, so wandelt sie sich zuweilen zu heftigen Strömungen um, die ihrer regulären Fortpflanzungsrichtung genau entgegengesetzt verlaufen können. Dieser Fall tritt im Ärmelkanal ein, wo die Gezeiten sich ganz augenscheinlich von Westen nach Osten fortpflanzen. Daraus ergibt sich sofort, daß die Gezeiten wegen dieser zusätzlichen Strömungen eine Verzögerung erfahren, die sich in einem Zeitunterschied zeigt, der an einem bestimmten Ort zwischen dem Meridiandurchgang des Mondes und dem höchsten Wasserstand besteht. Offensichtlich ist eine solche Verzögerung um so ausgeprägter, je enger ein Meeresteil eingeschnürt ist. Beträgt sie in Brest 3 Stunden 45 Minuten, so nimmt sie ständig nach den Häfen hin zu, die der Einschnürung des Ärmelkanals noch näher liegen. In Dünkirchen erreicht die Verzögerung 12 Stunden 15 Minuten, was zugleich in zweifacher Hinsicht dem Gewöhnlichen widerspricht: Einerseits kommt dort die Flutwelle von Westen her, und andererseits besteht doch nicht der gewohnte Zusammenhang zwischen dem Meridiandurchgang des Mondes und dem Hochwasser, obwohl beide Ereignisse der Uhrzeit nach zusammenfallen. Dieser auffällige Betrag der Verzögerung besagt doch nichts anderes, als daß der höchste Wasserstand in Dünkirchen erreicht wird zu dem Zeitpunkt, der 12 Stunden nach dem Meridiandurchgang des Mondes über unseren Antipoden liegt. Die Zeitspanne, die sich zwischen dem theoretischen und dem wirklichen Eintreten des Hochwassers erstreckt, wird Hafenzzeit genannt. Ändert sich diese Zeit auch, wie soeben auseinandergesetzt, sehr stark von Hafen zu Hafen, so ist sie dennoch unveränderlich groß für jeden einzelnen Ort.

Die Störungen, die die Küsten der Kontinente und Länder verursachen, führen noch zu einer weiteren auffälligen Erscheinung. Dringt die Gezeitenwelle in gewisse Meerengen ein, so entstehen Unterschiede in der Höhe des Wasserstandes, die man nicht verstehen kann, wollte man nicht die Strömungen der Wassermassen berücksichtigen. Sie sind um so bedeutender, je unregelmäßiger die Umrisse der Kontinente und je verschiedener die Meerestiefen sind. In Meeren mit zahlreichen Untiefen, wie in Meerbusen und Meerengen, kann die von den Gezeiten entwickelte Gewalt der Wassermengen den Wasserspiegel zu ganz ungewöhnlichen Höhen emportreiben. Auch hierfür liefern die Küsten des Ärmelkanals kennzeichnende Beispiele. An der bretonischen Küste ist der mittlere Unterschied zwischen Hoch- und Niedrigwasser etwa 4 Meter, erreicht in der Bucht von Mont-Saint-Michel 10 Meter, und bei Cherbourg geht er bereits wieder auf 4 Meter zurück. Die Gezeiten der Äquinoktien sind zuweilen ganz außerordentlich hoch; an der normannischen Küste steigen sie bis auf 15 Meter an. Dennoch weisen die Küsten des Ärmelkanals nicht die höchsten Gezeiten auf. In Kanada kennt man in der Fundy-Bay westlich von Neuschottland Gezeitenhuben bis zu 20 Metern. In Argentinien liegt

## Die Gezeiten der Erdrinde

Im vorausgehenden wurde gezeigt, daß auf Grund theoretischer Überlegungen das durch Springfluten hervorgerufene Anheben des Wasserspiegels nur 79 cm erreichen sollte, daß aber in Wirklichkeit der Hub inmitten der Ozeane 50 bis 60 cm nicht übersteigt. Dort tritt somit der umgekehrte Fall zu dem ein, der sich an den Küsten der Ozeane meist beobachten läßt. Diese Naturerscheinung wurde zuerst von dem Physiker Lord Kelvin (1824-1903) erklärt. Im Gegensatz zu der Annahme, zu der wir durch die Bezeichnung »feste Erde« verleitet werden, ist die Erdrinde alles andere als unbedingt fest. Sie unterliegt vielmehr den Anziehungskräften von Sonne und Mond und

bei Port Gallegos das Maximum bei 18 Metern, und im Bristolkanal, in Großbritannien, hat man bis zu 16 Meter gemessen.

Es ist nicht nötig, darauf hinzuweisen, daß die Gezeiten eine gewaltige Naturkraft darstellen, aus der die Menschen bereits Vorteil zu ziehen sich bemühten. Versuche, diese Kräfte auszunützen, sind an vielen Stellen gemacht worden, in der Hauptsache dort, wo die Unterschiede des Wasserstandes am größten sind. Technische Schwierigkeiten haben lange Zeit immer wieder die Verwirklichung dieser Pläne verzögert. Heute scheinen alle Schwierigkeiten überwunden zu sein, nachdem man im Begriff ist, im Wattenmeer von La Rance eine Meeresenergieanlage zu bauen. Man schätzt auf eine verfügbare Energiemenge von 20 Millionen Kilowatt, die dort dem Meere abgerungen werden kann. In Kanada sieht man ebenfalls der Konstruktion einer Gezeitenenergieanlage entgegen, was wohl niemand überraschen wird, weil dieses Land so die ungewöhnlich großen Energiequellen nützen kann, die ihm die Natur an seinen Küsten gegeben hat.

Auch in den großen Strommündungen haben die Gezeiten zuweilen recht ungestüme Vorgänge zur Folge. Wenn sich die Flut einstellt, dringen die Wassermassen in die Strommündung vor; ist die Wassertiefe nur gering, so muß das eindringende Wasser nicht nur gegen die Strömung des Flusses ankämpfen, sondern auch gegen den starken Reibungswiderstand des Grundes. Das führt zu einer regelrechten Anhäufung des Wassers. Schließlich bricht aber die Flut jedes Hindernis, und unter Bildung ziemlich hoher Wellen dringt das Wasser in die Strommündung ein. Dieser Vorgang ist an den Mündungen der Gironde und der Seine eine bekannte Erscheinung und hat sogar einen eigenen Namen erhalten (mascaret). Solche Wasserbarrieren erheben sich an der Seine bis zu 3 Metern Höhe.

Zeigen sich die Gezeiten in vielen Meeren und Meeresteilen durch die großen Unterschiede von Hoch- und Niedrigwasser an, so gibt es ebenso Meere, in denen sich die Gezeiten kaum bemerkbar machen. Das trifft in Meeren zu, die im großen und ganzen so gut wie abgeschlossen sind, wie das Mittelmeer und die Adria. Die Schwankung des Wasserspiegels übersteigt nicht einmal 85 cm, in Marseille erreicht sie kaum 20 cm. Fast das gleiche gilt für das Rote Meer und für das Karibische Meer.

Endlich überraschen die Gezeiten mancherorts durch ein wahrhaft kapriziöses Verhalten: Im Golf von Tongking treten die Gezeiten nur einmal innerhalb von 24 Stunden ein; in Tahiti macht man dieselbe Feststellung und bemerkt darüber hinaus sogar, daß Ebbe und Flut täglich zur gleichen Zeit eintreten. Solche außergewöhnlichen Erscheinungen lassen sich nur durch sehr ins einzelne gehende Betrachtungen und durch umfangreiche Rechnungen erklären.

ist deshalb ebenfalls, wengleich in viel geringerem Maße, Verformungen unterworfen, die in demselben Rhythmus auftreten wie die Gezeiten. Man darf deshalb sagen, eine Flutwelle erfaßt nicht nur die Ozeane, sondern auch die Erdrinde; täglich umlaufen zwei diametral entgegengesetzte Wülste die Erdkugel und heben den Boden leicht an. In der Mitte der Ozeane, wo die Wassermassen ständig im Gleichgewicht sind mit den wirkenden Kräften, würde eine Messung der Wasserhöhe vom Grund des Meeres aus zu dem Wert führen, der sich aus der Verformung allein der Wasserhülle unserer Erde ergibt, weil sich der Meeresgrund selbst hebt und senkt. Die Unterschiede der gemess-

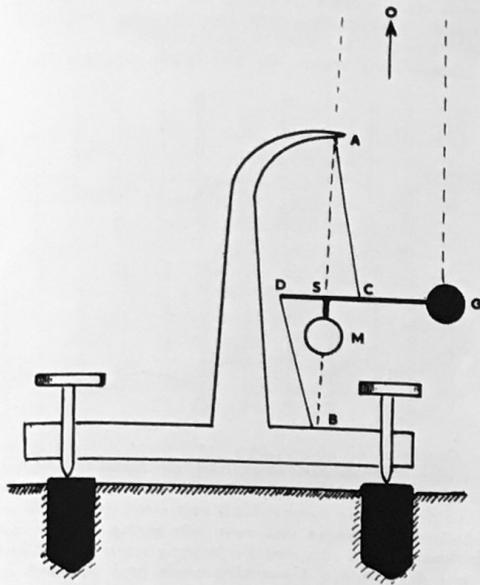


Abb. 43. - Schematische Darstellung eines Horizontalpendels. Das Horizontalpendel SG ist in den Punkten D und C an zwei Fäden aufgehängt. Diese Fäden sind in den Punkten A und B am Gerüst des Instrumentes befestigt, so daß A nahezu senkrecht über B liegt und AB die fiktive Drehachse des Pendels ist. SG ist einem Vertikalpendel der Länge GO gleichwertig, wobei O der Schnittpunkt zwischen der verlängerten Geraden BA und der Senkrechten über G ist. Offenbar ist GO sehr groß.

Der mit dem Pendel fest verbundene Spiegel M wird von dem Lichte einer festen Lichtquelle getroffen, das er auf eine Drehtrommel zurückwirft. Die geringste Pendelbewegung wird somit vergrößert wiedergegeben und kann photographisch registriert werden.

Photo 18. - Das Horizontalpendel ORB. Das Horizontalpendel der Königlichen Sternwarte Brüssel nach Verbaandert und Melchior besteht in der Hauptsache aus einem horizontalen Arm, der frei schwingend mit zwei dünnen Fäden an einem starren Gerüst aufgehängt ist.

Gerüst, Arm und Fäden sind aus Quarz, das neben mancher vorteilhaften Eigenschaft auch eine äußerst geringe Wärmeausdehnung besitzt. Die Quarzfäden sind sehr zugfest und dennoch biegsam; ihr Widerstand gegen Drehung ist sehr gering.

Verläuft die Drehachse des Armes nahezu senkrecht, so übt die Schwerkraft keinen nennenswerten Einfluß auf dessen Gleichgewichtslage aus. Die kleinsten äußeren Kräfte, wie sie z.B. von der Sonnen- und Mondmasse ausgehen, bringen den Arm aus seiner Gleichgewichtslage heraus. Diese Anziehungskräfte erzeugen nämlich kleine Schwankungen des felsigen Untergrundes, auf dem das Instrument ruht, so daß der Arm in Schwingungen gerät. Ein kleiner Spiegel am Pendelarm wirft dabei ein Lichtbündel von einer festen Lichtquelle auf einen lichtempfindlichen Papierstreifen, der mit 5,5 mm pro Stunde abläuft und so die Schwankungen photographisch aufzeichnet.

senen Wasserhöhen entsprechen nur zu zwei Dritteln dem theoretischen Werte der Meereszeiten; das letzte Drittel ist durch die Verformung der festen Erdrinde herbeigeführt, das heißt durch die Gezeiten der festen Erdrinde.

Mancherlei Instrumente sind erfunden worden, um die Gezeiten der festen Erdrinde zu messen, allen voran muß hier das Gravimeter genannt werden. Im Grunde genommen ist dieses Instrument nichts anderes als eine Waage extrem hoher Empfindlichkeit, deren Aufgabe es ist, die Schwankungen der Schwerkraft zu messen. Kennt man diese Schwankungen, so lassen sich auch die ihnen entsprechenden Höhenschwankungen der Erdoberfläche ableiten, indem man das Newtonsche Schweregesetz anwendet. Es läßt sich leicht einsehen, daß ein Gravimeter, soll es Höhenschwankungen von der Größenordnung eines Meters und somit äußerst winzige Schwereveränderungen anzeigen, mit einer Verstärkeranordnung arbeiten muß. Moderne Gravimeter besitzen elektronische Verstärker hoher Zuverlässigkeit und großen Verstärkungsgrades.

Es wurden aber auch Apparaturen gebaut, um die seitlichen Schwankungen der Schwerkraftsrichtung, die ebenfalls eine Folge der Gezeiten der festen Erdrinde sind, zu messen. Wäre unsere Erdrinde nicht verformbar, so würde ein Senkblei, besser ausgedrückt ein Vertikalpendel, bei sorgfältiger, jede Störung abweisender Aufhängung un-

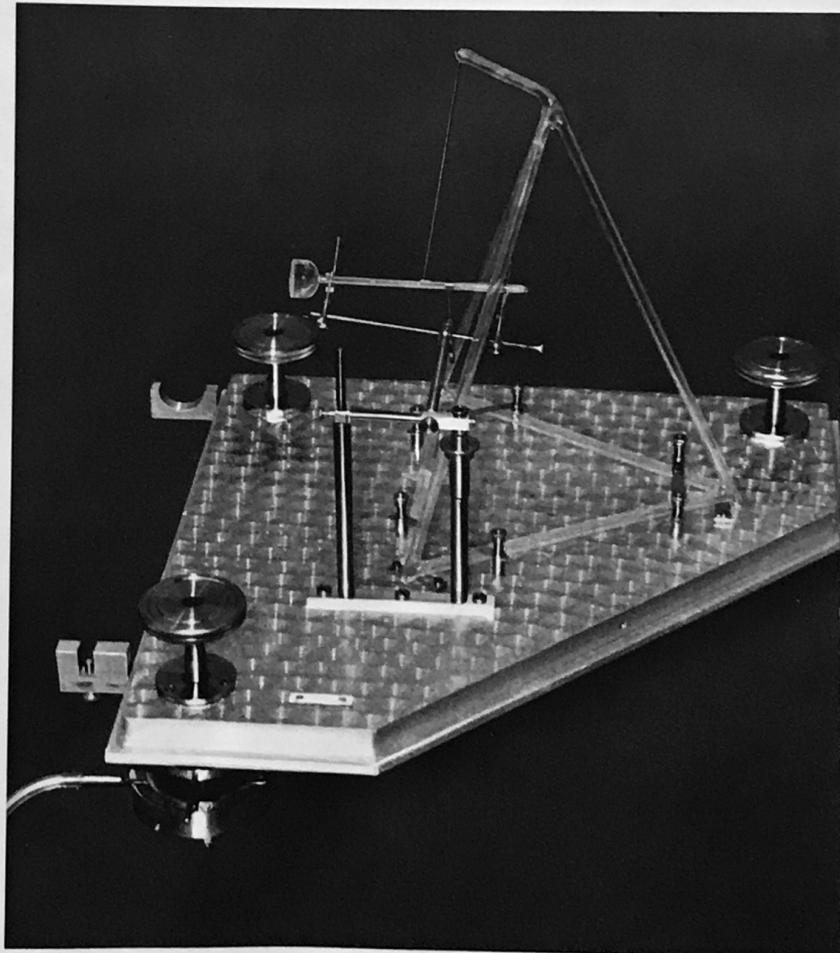
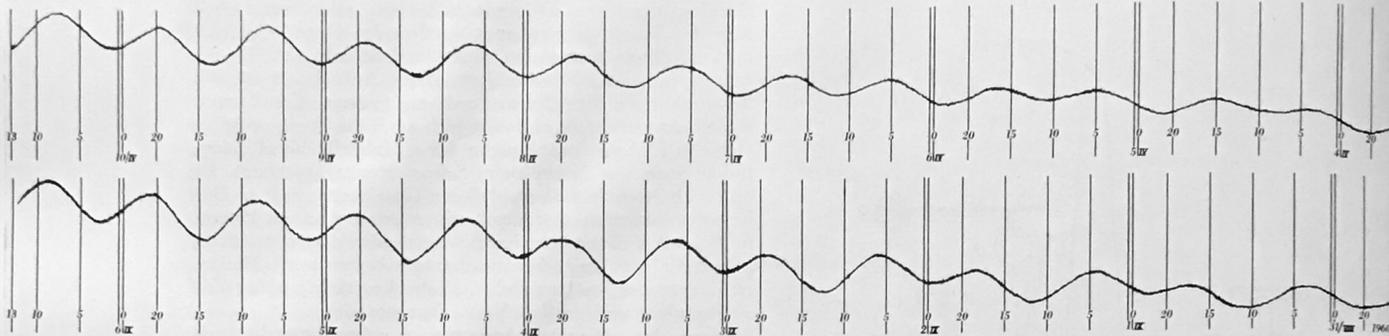


Abb. 44. - Aufzeichnungen der Gezeiten der Erdrinde. Diese Abbildung ist die verkleinerte Wiedergabe einer photographischen Registrierung von Erdgezeiten, aufgenommen in Sclaigneaux (Belgien) in einem Bergwerksstollen 80 m unter Tag.

Die kleinen Veränderungen der Erdschollenneigung, die hier als

wellenförmige Schwankungen einer fortlaufenden Kurve registriert werden, haben einen größten Ausschlag, der einer Schollenneigung von  $\pm 0,02$  Bogensekunden entspricht. Dem kleinsten Ausschlag entspricht eine Neigung von  $\pm 0,008$  Bogensekunden.

In der Aufzeichnung treten die halbtägigen Gezeiten klar in



Erscheinung. Zur Zeit der Syzygien sind die Ausschläge am größten, zur Zeit der Quadraturen am kleinsten.

Die winzigen, unregelmäßigen Schwankungen, die sich als feine Zahnung in die Wellenkurven eingraben, zeigen die kleinsten registrierten Schwankungen unseres Erdbodens an. Diese haben hauptsächlich ihren Ursprung im Anprall der Brandung an den Küsten der Ozeane. Die fortwährend gegen die Kontinente geführten Stöße rufen eine Erschütterung hervor, die sich Tausende von Kilometern ins Landinnere ausbreitet.

Der Gesamtverlauf der Kurven zeigt ein Ansteigen von rechts nach links; dieser Tatsache schenken die Geophysiker ebenfalls

Beachtung. Es scheint, als ob sich dem beständigen Auf und Ab der Erdgezeiten eine ebenfalls beständige, aber gleichmäßige fortschreitende Erdbodenbewegung überlagert. In Wirklichkeit sind die Ursachen dieser Erscheinung hauptsächlich rein instrumenteller Natur. Die Erdschollenschwankungen sind zwar sehr gering, aber ununterbrochen wirksam, so daß sich eine Verformung selbst des stabilsten Materials und der festesten Konstruktionsteile nach und nach auf den allgemeinen Kurvenverlauf auswirkt. Nicht ausgeschlossen ist, daß sich in gewissen Erdgegenden langsame, beständige Schollenbewegungen den instrumentellen Veränderungen zugesellen und zu einem unaufhörlichen Abgleiten der Kurven führen.

abänderlich über demselben Punkte des Erdbodens verharren. Weil aber dieser Boden zufolge des periodischen Durchgangs zweier Aufwölbungen wellenförmige Bewegungen ausführt, verschiebt sich auch der Punkt unter dem Pendel sowohl nach Zeit als auch nach Größe der Gezeitenkräfte. Es handelt sich hier um fast unmerkliche Verschiebungen, wenige hundert Mikron bei einer Pendellänge von einem Meter. Theoretischen Überlegungen zufolge können Ausschläge eines steifen Vertikalpendels beträchtlich vergrößert werden, wenn man die gewöhnliche horizontale Drehachse aufrichtet. Legt man sie nahezu in die Vertikalrichtung, was darauf hinausläuft, daß der schwingende Teil nunmehr fast in der Horizontalen verläuft, so hat man ein Horizontalpendel hergestellt. Es besitzt die sehr wertvolle Eigenschaft, daß es einem viel

längeren Vertikalpendel gleichwertig ist und durch sehr geringe Neigung der Drehung beliebig lang gemacht werden kann (Abb. 43).

Ein auf dem Erdboden aufgestelltes Horizontalpendel zeigt dessen Neigungsschwankungen als Abweichungen von der Vertikalrichtung sehr zuverlässig an. Diese Schwankungen haben, wenn sie aufgezeichnet werden, wellenförmigen Verlauf und zeigen im Zeitraum von 24 Stunden zwei Höchstwerte und zwei Tiefwerte, genauso wie die Kurven der ozeanischen Gezeiten. Der Ausschlag der Wellenkurve ändert sich zudem noch im Rhythmus einer Lunation, erreicht dabei den größten Wert zur Zeit der Syzygien, was ohne weiteres verständlich ist, weil sich in diesem Augenblick die anziehenden Kräfte von Sonne und Mond addieren (Abb. 44, Photo 18).

## Die atmosphärischen Gezeiten

Wenn die Anziehungskraft des Mondes fähig ist, die Erdrinde zu verformen, so wird sie sich auch an den Luftmolekülen, die unsere Atmosphäre aufbauen, bemerkbar machen. Tatsächlich existieren atmosphärische Gezeiten, in denen dieselben Gesetze periodischer Wiederkehr obwalten wie in den Gezeiten der Ozeane, womit zugleich gesagt ist, daß auch sie zur Zeit der Syzygien am größten sind. Unter ihrer Einwirkung verändert sich der Luftdruck, allerdings innerhalb äußerst enger Grenzen. Dennoch ziehen diejenigen, die von einem Einfluß des Mondes auf das Wetter überzeugt sind, diese Einzel Tatsache zur Stützung ihrer Behauptung heran. Wie steht es damit? Muß dieses Argument berücksichtigt werden? Vor allem ist zu bedenken, daß die Anziehung seitens des Mondes periodischen Charakter besitzt, deren Stärke sich schnell ändert. Nur zwölf Stunden, nachdem sich eine Druckänderung in einem bestimmten Gebiet bemerkbar gemacht hat, vergehen, bis sie sich bis zu unseren Antipoden fortgepflanzt

hat. Da sich die Wetteränderungen demgegenüber nur langsam vollziehen, besteht keine Veranlassung, auch nur den geringsten Zusammenhang zwischen den beiden Arten von Änderungen zu sehen. Im großen und ganzen geht es nur darum, eine Wetterbeeinflussung durch den Mond lediglich zu den Zeiten des Vollmondes und des Neumondes, wenn die Gezeiten am stärksten sind, anzuerkennen. Aber selbst in diesen Fällen bleiben die barometrischen Druckveränderungen unbedeutend, und unser Argument, daß die Gezeitenwirkung auf die Atmosphäre nur flüchtigen Charakter trägt, bleibt bestehen. In Wirklichkeit sind die meteorologischen Veränderungen auf Ursachen gänzlich anderer Größenordnung zurückzuführen. Diese Ursachen sind ebenso umfassend wie tiefgehend, und sie übertreffen in ihren Auswirkungen bei weitem die atmosphärischen Gezeiten. Man darf höchstens zugestehen, daß die atmosphärischen Gezeiten nur eine sehr bescheidene Rolle und zudem in recht einzigartigen Fällen spielen.

# XI Beschreibung der Mondoberfläche

Abgesehen von der Sonne und allenfalls noch von der Venus, deren Sichelform nur äußerst wenig Menschen zu erkennen imstande sind, ist der Satellit unserer Erde der einzige Himmelskörper, der sich unserem unbewaffneten Auge nicht nur als leuchtender Punkt darbietet. Seine scheinbaren Ausmaße am Himmel sind sogar so groß, daß wir ganz grob verschiedene Oberflächenformen oder zumindest verschieden helle Flächen unterscheiden können. Scharfsichtige Augen vermögen sogar bestimmte Umrisse zu erkennen; andere stellen dabei die eine oder andere kennzeichnende Gestalt im Monde fest, so z.B. den Mann im Mond, die Spinnerin oder den Hasen (Photo 32).

Mit einem Feldstecher beobachtet, erscheinen manche Einzelheiten wie scharfgestochen, und helle Regionen grenzen sich scharf von dunklen Flächen ab. In gewissen Zeiten der Lunationen ist die Beleuchtung der Mondoberfläche

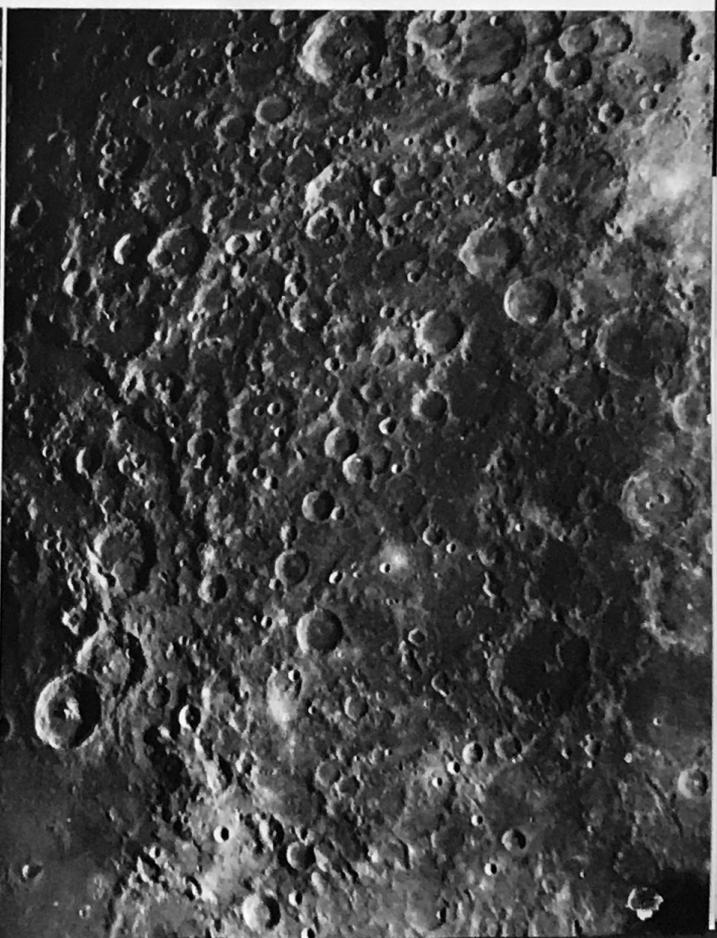
sogar so günstig, daß man viele Einzelheiten der Mondlandschaft und hervorspringende Bodenformen erkennen kann. Allein im Fernrohr zeigt sich jedoch der Mond in seinem zauberhaften Aussehen, so daß man sogar zahllose Einzelheiten feststellen kann. Was dabei vor allem überrascht, ist ein Eindruck wilder Unregelmäßigkeit; der Boden ist buchstäblich durchsiebt von Löchern jeglicher Größe, gleichsam ein Bombentrichter neben dem anderen. Prüft man den Anblick ein und derselben Mondregion zu verschiedenen Zeitpunkten der Lunationen, so kann es einem nicht entgehen, daß der Anblick jedesmal anders ist. Was sich einmal als eine tiefe Mulde zu erkennen gibt, erscheint ein anderes Mal höchstens als flache Einsenkung. Diese und ähnliche Unterschiede werden durch die verschiedene Beleuchtung im Augenblick der Beobachtung hervorgerufen (Photos 19, 20 und 21).

Photo 19 und 20. - Mit Kratern übersäte Mondregion. Der hier dargestellte Teil der Mondoberfläche erinnert an ein Trichtergelände.

31. Mai 1944. Mondalter 9,57 Tage.

(Photo Observatorium Pic du Midi.)

15. Januar 1944. Mondalter 19,05 Tage.



## Die Bedeutung der Mondbeleuchtung

Will man die Mondoberfläche gründlich studieren, so muß man sich die Zeit zur Beobachtung aussuchen, in der die Beleuchtung die Einzelheiten der Oberfläche hervortreten läßt, d.h. wenn sie lange Schatten erzeugt. Dazu ist es nötig, daß die beobachtete Region in der Nähe des Terminators, d.i. die Schattengrenze, liegt. Die Sonnenstrahlen kommen dann vom Horizont dieser Mondgegend, und es entstehen lange Schatten. So läßt sich der zentrale Teil der Mondoberfläche um so genauer betrachten, wenn erstes Viertel oder letztes Viertel ist, und durchaus nicht, wie man vielleicht meinen könnte, zur Zeit des Vollmondes. Dann käme offensichtlich das Sonnenlicht vom Zenit, die Schattenlänge wäre praktisch Null, und der Mondboden schiene auffallend eben. Das soll aber nicht besagen, daß die Beobachtung des Vollmondes in jedem Falle ohne Interesse wäre; sie deckt sogar Einzelheiten mancherlei Art auf, die zum Studium der Mondoberfläche ebenfalls einen wichtigen Beitrag leisten können. Diesem beständigen Beleuchtungswechsel verdanken es die Astronomen, daß sie nicht nur in der Lage sind, die Natur der Mondformationen zu erkennen, sondern auch die Erhebungen und Vertiefungen mit großer Genauigkeit zu berechnen (Photos 22 und 23).

Wenn die Erdatmosphäre ruhig und durchsichtig ist, gestattet das Fernrohr, Einzelheiten der gebirgigen Mondoberfläche zu erkennen, die kaum einen Kilometer lang sind. Mit den leistungsfähigsten Fernrohren, deren Vergrößerung bis zum Tausendfachen geht, kann man Einzelformen bis herab zu 100 m Länge und Breite erkennen und benachbarte Flecke im gegenseitigen Abstand von 200 m getrennt sehen. Eben-



Photo 21. - Streifender Lichteinfall. Die Mondformationen dicht an der Schattengrenze (Terminator) haben streifenden Lichteinfall und ihre Schatten sind sehr lang. Das Kaukasusgebirge (Mitte unten) ist dafür ein deutliches Beispiel.

(Photo Observatorium Pic du Midi.)  
3. Januar 1944. Mondalter 7,53 Tage.

Photo 22 und 23. - Entgegengesetzte Beleuchtungen. Diese zwei Aufnahmen von nahezu derselben Mondgegend zeigen einander entgegengesetzte Beleuchtungen. Deshalb bieten einige Formationen einen ganz verschiedenen Anblick, besonders die Lange Wand (Mitte oben). Auf Photo 22 erscheint sie schwarz, auf Photo 23 dagegen hell.

(Photo Observatorium Pic du Midi.)  
31. März 1944. Mondalter 9,57 Tage,  
17. Januar 1944. Mondalter 21,6 Tage.

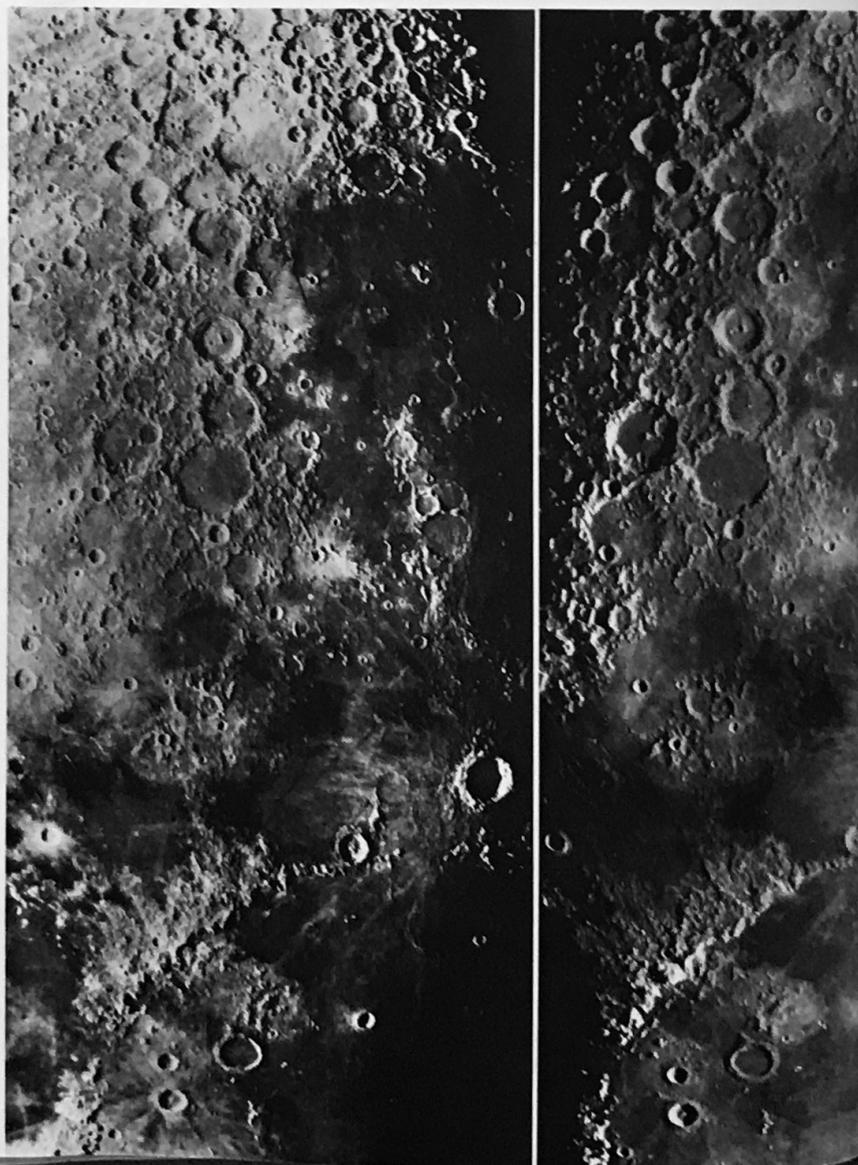


Photo 24 und 25. - Runzeln und Streifen. Auf diesen beiden Photos treten die Runzeln und Streifen des Mare Tranquilitatis und des Mare Serenitatis hervor. Sie sind bei entgegengesetzter Beleuchtung und sehr verschiedener Libration aufgenommen worden.

(Photo Observatorium  
Pic du Midi.)  
15. Januar 1944.  
Mondalter 19,05 Tage.  
2. Januar 1944.  
Mondalter 6,62 Tage.



falls kann man geradlinige, dunkle Gräben ausmachen, die nicht breiter als 100 m sind, und gleichfalls vermag man Krater von nur wenigen hundert Metern Öffnung zu erblicken. Bei streifend einfallender Beleuchtung lassen sich in den annähernd ebenen Flächen Höhendifferenzen von einigen zehn Metern feststellen, weil dann die gänz-

lich flach auftreffenden Sonnenstrahlen äußerst lange Schatten hervorrufen.

Auf den Monde gibt es die verschiedensten Oberflächenformen. Die drei charakteristischsten sind die Meere, die Krater und die Gebirge (Photo 26).

## Die Mondmeere

Offensichtlich ist der Ausdruck Meer unzutreffend, bezeichnet er doch auf dem Monde etwas ganz anderes als auf der Erde. Es ist aber auch nur zu gut bekannt, mit welcher Beharrlichkeit die Astronomen — sei es freiwillig oder aus sachlichen Notwendigkeiten gezwungen — chedem festgelegte Benennungen beibehalten. Es genügt in diesem Zusammenhang, an die Sternbilder zu erinnern, denen vor rund 2000 Jahren mythologische Bezeichnungen gegeben wurden. Was aber die Benennungen der verschiedenen Mondformationen und besonders der Meere angeht, so liegen diese erst einige Jahrhunderte zurück, wurden sie doch zu jener Zeit gegeben, als die Astronomen zum ersten Male den Mond mit dem Fernrohr betrachteten und ihn der Erde ganz ähnlich fanden. Da in jener Zeit der Ein-

bildungskraft zuweilen recht freimütig Ausdruck gegeben wurde, hat sie uns eine Reihe ganz phantastischer Ausdrücke hinterlassen : Meer der Heiterkeit, Ozean der Stürme, Meer des Nektars, Golf der Rosen, Sumpf der Verwesung, See der Träume... Wenn wir heute auch wissen, daß alle diese Meere und Seen keinen einzigen Tropfen Wasser enthalten, so verstehen wir doch auch, daß die damaligen Astronomen im Hinblick auf ihre noch recht unvollkommenen Fernrohre leicht der Täuschung verfallen konnten. Die ausgedehnten Gebiete, deren Helligkeit merklich schwächer ist als die der anderen Mondgebilde, sind Gebiete nur sehr geringer Höhengliederung. Sie besitzen meistens eine im großen und ganzen runde Form und grenzen zum Teil an Gebirgszüge. Aus ihrer Mitte her-



aus laufen zuweilen radiale Streifen auseinander, das sind in Wirklichkeit regelrechte Einkerbungen im Boden. Bei anderen Meeren durchziehen Runzeln die Oberfläche; das sind Faltungserscheinungen geringen Höhenunterschiedes - höchstens einige hundert Meter hoch -, die nur bei streifendem Lichteinfall zu beobachten sind. Deshalb erkennt man sie nur, wenn der Terminator in ihrer Nähe verläuft. Aber auch dann bemerkt man nur diejenigen, die sich einigermaßen parallel zu dieser Grenze zwischen Licht und Schatten hinziehen. Ihr Verlauf ist sehr wechselreich; manchmal sind sie alle in die gleiche Richtung ausgerichtet, manchmal kommt es auch vor, daß sie sich kreuzen. Vorzugsweise sind sie nach den Rändern der Meere orientiert und laufen längs deren »Ufern«. Der amerikanische Astronom G.P. Kuiper hat auf dem Kamm gewisser Runzeln leichte Brüche und sogar eine Art von Aushöhlungen entdeckt (Photos 24 und 25).

### Die Mondkrater

Die kreisförmigen Bildungen der Mondoberfläche wurden von Anfang an mit der Bezeichnung Krater belegt - zufolge ihrer vermeintlichen Ähnlichkeit mit den Öffnungen der Vulkane. Sie stellen die charakteristischsten, mannigfaltigsten und zahlreichsten Gebilde aller Mondformationen dar. Die kleinsten von ihnen, die man noch mit einem mittelgroßen Fernrohr wahrnehmen kann, haben einen Durchmesser von etwa einem Kilometer; man hat aber allen Grund zu der Annahme, daß es noch kleinere in sehr großer Anzahl gibt. Die größten der Krater erreichen Durchmesser, die zuweilen 250 km nahekommen. Die Gesamtzahl aller Krater wird auf 20 000 bis 30 000 geschätzt. Ungefähr 600 dieser Gebilde haben Namen erhalten, die gewöhnlich dem Namensverzeichnis der Gelehrten, insbesondere der Astronomen aller Zeiten, entlehnt worden sind (siehe S. 94).

Die Krater unterscheiden sich ebensowohl durch ihre Ausmaße wie auch durch ihr Aussehen voneinander. Manche sind sehr tief, während andere kaum eine Tiefe erkennen lassen, vielmehr vermutlich mit Material angefüllt sind. Das geht so weit, daß die Krater unter einer wie Staub aussehenden Schicht zu verschwinden scheinen. Bei manchen ist der Grund eben und gleichartig; man kann dann zuweilen feststellen, daß er bei Vollmond auffallend glänzt. Manchmal steigt aus der Mitte des Kraters ein ringförmiger oder gestreckter Gebirgsteil verhältnismäßig hoch empor. Die Kraterländer, auch Wälle genannt, unterscheiden sich von einem zum anderen; bald sind sie flach, bald zackig und steil. Diese Eigenheiten sind unleugbar Hinweise auf das Alter dieser Gebilde (Photo 27).

Diese Verschiedenheit im Aufbau der Mondoberfläche hat einige Astronomen angeregt, eine systematische Klassifizierung der Krater vorzunehmen; noch heute benutzt man manchmal die Begriffe, die der englische Selenograph Neison am Ende des vorigen Jahrhunderts geprägt hat. Die von ihm vorgeschlagenen Benennungen haben einen mehr beschreibenden Charakter und geben weniger einen Hinweis auf die Entstehung der Mondgebilde. Danach lassen sich folgende Arten von Kratern unterscheiden: die Wall-ebenen oder Wallgebirge, die massenreichsten aller Kraterbildungen, von einem festen Wall hoch umgeben, in der

Photo 26. - Die drei Arten von Mondformationen. Dieses Photo zeigt die verschiedenen Arten der Mondformationen und welche besonderen Anblick Meere, Gebirge und Krater bieten.

(Photo Observatorium Pic du Midi.)  
1. Mai 1944. Mondalter 8,94 Tage.

Photo 27. - Die Hochebene Wargentin. *Wargentin* ist das Beispiel eines Kraters, dessen flüssiger Inhalt größer war als das Kraterinnere. Die Lava hat sich in den Nachbarkrater ergossen.

(Photo Observatorium Pic du Midi.)  
27. November 1955 21.02 Uhr WZ.

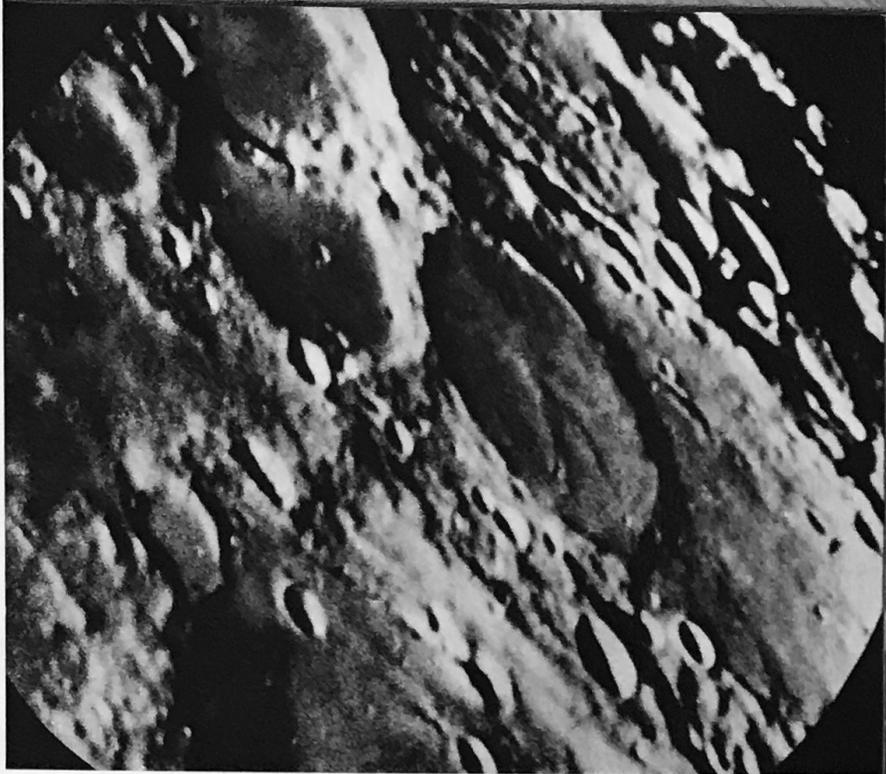


Photo 28. - Die Wallebene Clavius. Diese Wallebene ist eine der größten der uns genau bekannten Mondoberfläche.

(Photo Observatorium Mount Wilson und Palomar.  
500 cm Spiegel.)





(Photo Sternwarte Paris.)

Photo 29 und 30. - Krater mit Strahlensystem : Tycho. Diese beiden Aufnahmen des berühmten Tycho wurden kurz vor und kurz nach Vollmond gemacht und lassen das Strahlensystem deutlich hervortreten.



(Photo Observatorien Mount Wilson und Palomar, 250 cm Spiegel.)

Rechts : Photo 31. - Krater mit Strahlensystem : Copernicus. Wie Tycho ist auch Copernicus ein junger Krater mit dem charakteristischen Strahlenkranz. Die Strahlen erstrecken sich nach allen Richtungen.

Form einer riesenhaften Arena ; die Ringgebirge, den Vorhergehenden ähnlich, aber kleiner im Durchmesser ; die Ringebenen, deren Wall, zwar noch recht hoch, sich zur Mittelebene oft terrassenförmig hinuntersenkt ; die Kraterenbenen, ähnlich, jedoch kleiner als die Vorigen ; die Kleinkrater und die Kraterkegel, die kleinen Vulkanen ähneln, sowie endlich die Kraterlöcher (Photo 28).

Manche Krater sind mit einem Strahlenkranz umgeben, ähnlich dem, mit dem Künstler die Köpfe der Heiligen schmücken. Der Kranz besteht aus einer Vielzahl von geraden Spuren, die gleichmäßig hell erscheinen. Das Ganze ist nicht sichtbar, wenn der Terminator sich in unmittelbarer Nähe befindet ; die Helligkeit der Strahlen hängt

nur von dem Winkel, unter dem die Beleuchtung erfolgt, ab ; sie ist am größten, wenn das Licht steil auffällt. Die auffälligsten Strahlensysteme sind diejenigen, die die Krater Copernikus und Tycho umgeben. Die vielen Hundert von Strahlen, die von dem letzteren ausgehen, sind erstaunlich lang, und einer von ihnen erstreckt sich über mehr als die Hälfte der Mondscheibe. Bei Vollmond haben die Strahlen ein wundervolles Aussehen. Da sie keinerlei Schatten werfen, kann man sie nicht als Unebenheiten der Mondoberfläche ansehen, um so weniger, als sie über alle Hindernisse hinweggehen ; so scheinen sie wahrhaftige Zeichnungen auf dem Gelände der Erde darzustellen (Photos 29, 30 und 31).

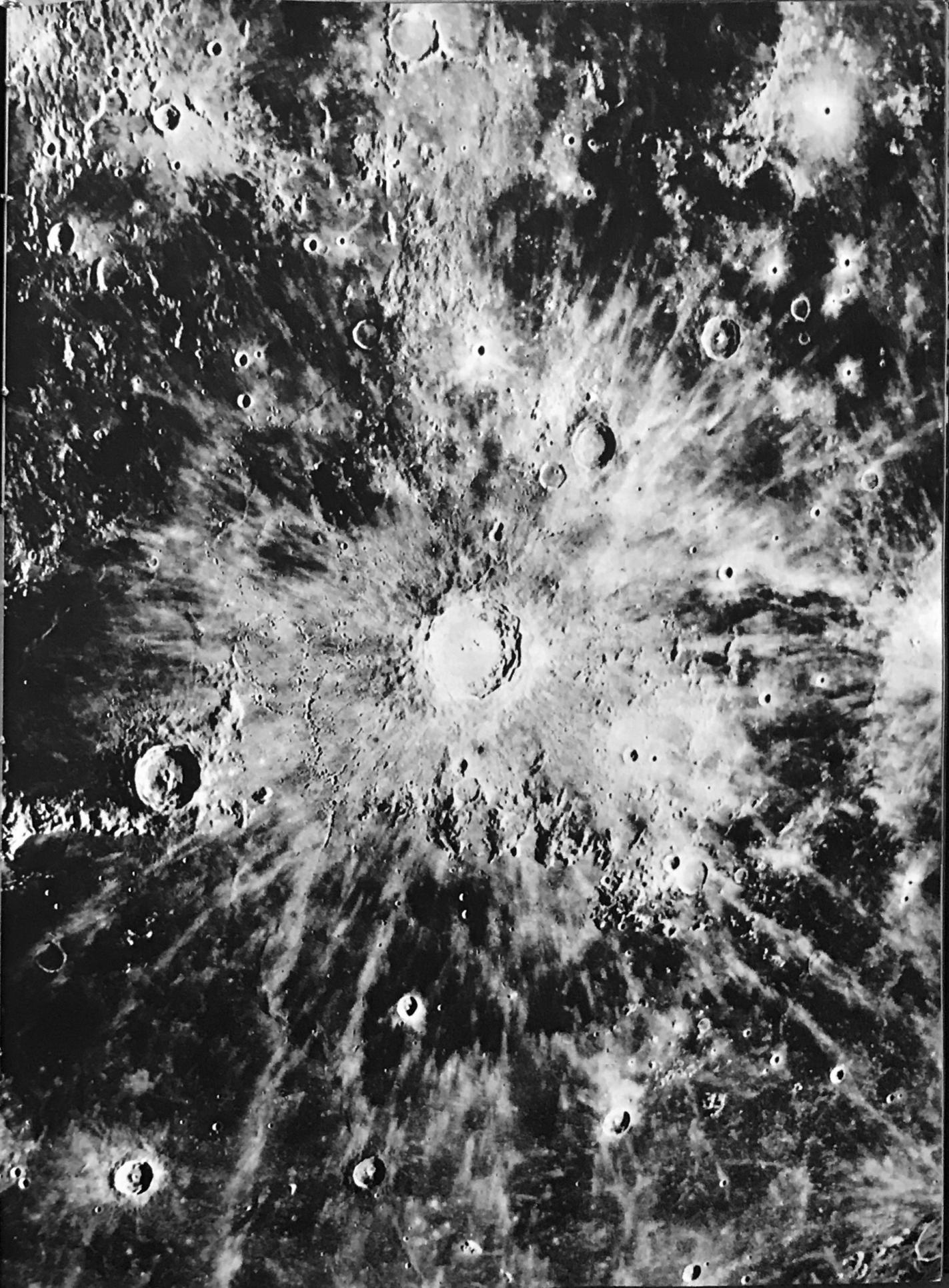
## Die Mondgebirge

Die Mondgebirge haben ein von den Erdgebirgen gänzlich verschiedenes Aussehen. Obwohl sie ausgeprägte Kämme haben, sind sie nicht besonders steil, wohl aber sind sie sehr hoch und sogar verhältnismäßig höher als die Gebirgszüge auf der Erde, wenn man die Größe von Mond und Erde berücksichtigt. Die höchsten Gipfel, die sich im Leibnizgebirge befinden, überschreiten 8 000 m und erreichen somit fast die Höhe unseres Mount Everest. Man muß aber sogleich hinzufügen, daß diese » Höhen « Erhebungen sind, weil sie mangels eines durchgehenden Bezugsniveaus von der umgebenden Mondlandschaft aus gerechnet werden müssen. Während wir auf der Erde bei Höhenangaben hinzufügen ; » über dem Meeresspiegel «, so ist auf dem Monde eine solche Angabe nicht möglich. Deshalb ist auch ein Vergleich der Höhen auf Erde und Mond nicht unbedingt richtig, es sei denn, man könnte sich unsere

Erde ohne Ozeane vorstellen. Weil die Ozeane Abgründe bedecken, die Tausende von Metern hinabreichen, so müßte man dann letztlich feststellen, daß die Höhenunterschiede auf der Erde doch viel beträchtlicher sind als die auf dem Monde (Abb. 45).

Während ein großer Teil der Mondgebirge so gruppiert ist, daß sie Gebirgsketten, wie wir sie auf der Erde kennen, bilden, stehen dagegen andere völlig isoliert in einer Ebene ; dafür sind die Gebirge Pico und Piton kennzeichnende Beispiele. Einzelne sehr steile Formationen sind ebenfalls recht charakteristisch, wie z.B. die Gerade (oder Lange) Wand, die je nach Beleuchtung aussieht wie eine gigantische Spalte oder wie eine Klippe von 120 km Länge und 300 m Höhe.

Die Namen, die man den Gebirgsketten und Bergen des Mondes gegeben hat, sind zum Teil dieselben, mit denen



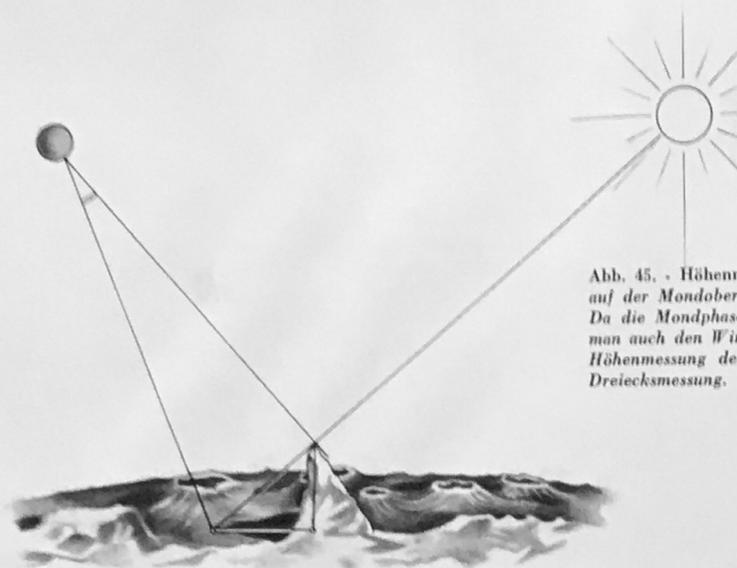


Abb. 45. - Höhenmessung der Mondberge. Die Länge der Schatten auf der Mondoberfläche kann von der Erde aus gemessen werden. Da die Mondphase im Augenblick der Messung bekannt ist, kann man auch den Winkel errechnen, unter dem das Licht auftrifft. Die Höhenmessung der Mondberge ist deshalb nur ein Problem der Dreiecksmessung.

wir unsere Gebirge und Berge benennen; man findet auch auf dem Monde einen Montblanc, die Apenninen, den Kaukasus, die Alpen... Wieder andere Namen erinnern an Philosophen, Mathematiker und Astronomen.

Den verschiedenartigen Erhebungen auf dem Monde kann man noch als weitere Klasse kleine Hügel anfügen, die wie erloschene Vulkane aussehen. Es sind Kuppen von

etwa 8 km Umfang mit sanft (5 %) geneigten Abhängen, deren Gipfel mit einem Kraterloch von 800 m Öffnung versehen sind. Diese Gebilde, die man gar nicht selten antrifft und von denen G.P. Kuiper ein Dutzend entdeckt haben will, existieren nur in den Meeren. Sie haben die gleiche Färbung wie ihre Umgebung und sind deshalb bei Vollmond nicht zu erkennen.

### Die Rillen und Spalten der Mondoberfläche

Zum Abschluß dieser Beschreibung der verschiedenen Mondformationen bleibt noch übrig, die Rillen zu erwähnen. Das sind Risse und Bodenaufbrüche, deren Länge einige hundert Kilometer erreichen kann; die Breite reicht bis zu einigen Kilometern, und in die Tiefe gehen sie mehrere hundert Meter. Man kennt davon rund zweihundert, wovon die Mehrzahl erst in den letzten Jahrzehnten entdeckt worden ist. Zwei Arten unterscheidet man: die Einbruchrillen und die regulären Rillen oder Spalten. Die ersten verlaufen wie gebrochene Linien, deren Einzelstücke scharfe Winkel miteinander bilden. Sie sind im allgemeinen wenig tief. Ihr Aussehen verrät, daß sie nach und nach aufgefüllt worden sind; sie sind verhältnismäßig breit, und ihre Ränder sind gewöhnlich steil. Der Verlauf, den die gewöhnlichen Rillen auf dem Mondboden einzeichnen, ist ebenfalls recht bemerkenswert. Sie neh-

men oft von einem kleinen Krater ihren Ausgang, und ihre Teilstücke erscheinen wie Verbindungslinien zwischen benachbarten Kleinkratern in gerader Erstreckung. Einige Rillen dieser Art zeigen sich am Grunde mancher großer Krater, wie z.B. im Krater Gassendi.

Die regulären Rillen sind langgezogene Spalten von der Form einer geraden Linie oder eines Kreisbogens mit sehr großem Halbmesser. Breite und Tiefe dieser Rillen sind offensichtlich gleichmäßig groß, und der Grund ist eben. Man findet sie fast ausschließlich in der Nähe der Abgrenzungen, die die Meere voneinander trennen. Sie sind zu den Küsten dieser Meere parallel und zuweilen in zwei oder drei nebeneinander herlaufende Einzelrillen aufgespalten, wie das z.B. am Ostrande des Mare Humiditatis der Fall ist.



Photo 32. - Die Frau im Monde. Diese Gestalt meinen manche Beobachter sehr deutlich mit Feldstecher, zuweilen sogar mit bloßem Auge, bei Vollmond zu sehen.

# XII Die Beschaffenheit der Mondoberfläche

Eine Überprüfung der Mondoberfläche mittels eines unserer gemeinhin verwendeten Fernrohre vermag uns wenige nützliche Hinweise auf die Natur und den Aufbau des Oberflächenmaterials zu liefern. Für diesen Nachteil werden wir bei der Analyse der von der Oberfläche ausgehenden Strahlung, die als sichtbares Licht, Wärmestrahlung oder als Kurzwellenstrahlung zu uns kommt, durch recht zuverlässige Auskünfte entschädigt.

Der Mond sendet kein eigenes Licht aus. Das Licht, das er empfängt, ist unverfälscht, denn es kommt unmittelbar von einer Lichtquelle; es stammt von der Sonne selbst. Was uns aber als Mondlicht erreicht, ist mehr oder weni-

## Die wechselnde Helligkeit des Mondlichtes

Messungen des Mondlichtes werden seit langem und in großer Zahl vorgenommen. Diejenigen, die der Bestimmung der Albedo, d.h. des Reflexionsvermögens, dienen, sind besonders reizvoll. Sie belehren uns, daß die größte Lichtfülle des Mondes, nämlich die des Vollmondes, der 500 000ste Teil der Lichtmenge ist, die von der Sonne her zu uns kommt. Die Lichtmenge, die uns der Mond zusendet, nimmt offenbar mit dem Anwachsen der Phase zu; allerdings springt der Anteil, um den das Mondlicht im Verhältnis zur Phase zunimmt, nicht ohne weiteres in die Augen. Der Augenschein läßt uns vielleicht glauben, daß der Vollmond doppelt so hell ist wie der Mond im ersten oder letzten Viertel, was aber gar nicht zutrifft. Denn in Wirklichkeit ist das Verhältnis 12:1 bis 13:1. Der Grund dieses offensichtlichen Auseinanderklaffens ist darin zu suchen, daß der Einfallswinkel der Sonnenstrahlen sehr unterschiedlich ist. Trifft das Sonnenlicht streifend auf die

## Lichtmessungen und Farbmessungen

Die Unebenheiten der Mondoberfläche können mittels photometrischer Untersuchungen, d.h. mit Verfahren der Lichtmeßkunst, die auf die verschiedenen Mondregionen gerichtet werden, erfaßt werden. Manche Oberflächenteile erstrahlen im hellsten Glanze, wenn die auftreffenden Sonnenstrahlen nahezu in gleicher Richtung zurückgeworfen werden, wie das in der Mitte des vollen Mondes der Fall ist. Der Wechsel dieser Beleuchtungsstärke mit der Veränderung der Phase vollzieht sich für alle Teile der Mondoberfläche in gleicher Weise, ganz gleich, ob sie von Natur aus heller oder dunkler getönt sind, ob es sich also um Meere, Kontinente, Wälle, Kraterebenen oder Strahlenkränze handelt. Das wird als Beweis dafür angesehen, daß der Mondboden in allen seinen Teilen dieselbe Zusammensetzung besitzt. Zur genaueren Bestimmung der Zusammensetzung der Oberflächenmaterie hat z.B. der holländische Astronom van Diggelen berechnet, wie groß die Helligkeitsminderung durch den Schattenwurf ist, die in Aushöhungen und Falten verschiedener Formen bei verschiedener Beleuchtung entsteht. Er ist zu dem Schluß gekommen, daß sich mindestens zwei Drittel der Mondoberfläche aus ellipsoidischen Vertiefungen zusammensetzen, die tiefer als breit sind. Beim Vergleich der Ergebnisse, die

ger verändert, so wie jedes Licht verändert wird, das auf ein Hindernis auftrifft und deshalb den bekannten optischen Vorgängen, wie Absorption, Reflexion, Polarisation... unterliegt. Die Physiker haben erforscht, wie die verschiedenen Körper auf das Licht reagieren und in welchem Maße sie es beeinflussen. Sie sind deshalb sehr wohl imstande, durch die Analyse des Lichtes, das bei seinem Zusammentreffen mit einem Körper unbekannter Beschaffenheit verändert worden ist, dessen Natur zu bestimmen. Diese Untersuchungsmethode ist für die Astronomen um so wertvoller, als es das einzige Verfahren ist, das man auf das Materialstudium sehr weit entfernter Gegenstände anwenden kann.

Mondoberfläche auf, wie das für einen großen Teil der Mondscheibe im ersten oder letzten Viertel der Fall ist, so sind die von den Gebirgen und sonstigen Erhebungen des Mondes geworfenen Schatten sehr lang. Sie nehmen dann einen beträchtlichen Anteil der Oberfläche die Fähigkeit, uns Sonnenlicht zuzusenden. In derselben Richtung geht auch die Erklärung der Tatsache, daß die Mondscheibe im ersten Viertel ein wenig heller erscheint als im letzten. Das liegt daran, daß die Mitte der Mondscheibe in den beiden Vierteln in verschieden starkem Maße durch die entstandenen Schatten abgedunkelt ist.

Schließlich muß man bei der Beurteilung der Mondhelligkeit noch berücksichtigen, daß der winterliche Vollmond ein wenig heller scheint als der sommerliche, weil der erste höher am Himmel hinaufsteigt und sein Licht auf kürzerem Wege die Lufthülle der Erde durchläuft als im Sommer.

Beobachtungen der Mondhelligkeit und gleichartige Messungen an Gesteinsproben und Modellen lieferten, ergab sich, daß das Oberflächenmaterial des Mondes sehr uneben und von zahllosen unmittelbar aneinandergrenzenden Löchern unregelmäßiger Gestalt und verschiedenster Größe geradezu durchsiebt ist. Ausgebrannte Kohleschlacken entsprechen am besten dieser Vorstellung.

Auch Farbmessungen hat man am Mondlicht vorgenommen und damit einen Beitrag zum Studium der Oberflächenstruktur des Mondes geleistet. Auf diese Weise war es möglich, einige Hinweise auf die chemische Natur der Mondoberfläche zu bekommen. Die hier angewendete Methode zur Erforschung der Mondmaterie ist, genauso wie die zuvor geschilderte, größtenteils die des Vergleichs; sie umfaßt außer den direkten Messungen nämlich auch Laboratoriumsmessungen an Gesteinsstücken. Die bisher erhaltenen Ergebnisse sind noch nicht eindeutig; keine der untersuchten Proben, sei es Kalkstein, Sandstein, Granit, Basalt oder Gneis, hat die Eigenarten des Mondlichtes genau wiedergegeben. Nur zu einem Ergebnis haben die Farbmessungen am Mondlicht geführt: Es ist bemerkenswert gleichmäßig. Auch an mehreren russischen Sternwarten sind neuerdings Farbmessungen durchgeführt worden.

Obwohl diese sich auf sehr viele Gebiete der Mondoberfläche erstreckten und besonders den Strahlensystemen der Krater galten, liefern sie dennoch immer dasselbe Ergebnis. Die russische Astronomin N.N. Sitinskaja hat der Meinung Ausdruck gegeben, daß die eigenartige Färbung

des Mondmaterials auf die Wirkungen von kleinen Meteoriteneinschlägen zurückzuführen ist. Die beim Aufschlag entwickelte Hitze sei fähig, die Silikate in Oxyde des Eisens umzusetzen, und diese liefern die ausnehmend dunkle Färbung der Mondoberfläche.

## Polarisationsmessungen

Unter allen Methoden zur Untersuchung des Mondmaterials, die sich der Durchforschung des Lichtes bedienen, hat das Verfahren der Polarimetrie den Astronomen zum größten Fortschritt verholfen. Das Licht, so wie es von der Sonne zu uns kommt, ist in zwei zueinander senkrechte Schwingungen gleicher Schwingungszahl und gleicher Schwingungsstärke aufspaltbar, wobei die Schwingungsrichtung senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung verläuft. Wenn ein Bündel solchen natürlichen Lichtes auf irgendeinen Körper trifft, erleidet es eine Abschwächung, weil der Körper einen bestimmten Teil des Lichtes absorbiert. Dann wird der nichtabsorbierte Teil zerstreut und hat nunmehr nicht dieselben Eigenschaften wie das einfallende Licht. Seine beiden Schwingungsanteile haben ungleiche Stärke, weil die der einen Richtung beeinträchtigt worden und die Stärke der anderen Richtung erhalten geblieben ist. Man spricht dann von Polarisation des Lichtes und kennzeichnet diese nach der Richtung, die der bevorzugte Schwingungsanteil einhält.

Das Licht, das uns vom Monde her erreicht, ist nur zum Teil polarisiert, denn es besteht noch zum Teil aus natürlichem Licht. Der polarisierte Anteil dieses Lichtes und seine Schwingungsrichtung sind unabänderliche, wertvolle Kennzeichen des Mondlichtes. Die Bestimmung dieser Eigenheiten ist eine Aufgabe peinlicher Sorgfalt, denn diese Messungen müssen sich auf alle Mondregionen erstrecken und unter den verschiedensten Beleuchtungsumständen, die in einer Lunation möglich sind, durchgeführt werden. Trägt man diesen Erfordernissen Rechnung, so können die Ergebnisse zuverlässig mit denen verglichen werden, die im Laboratorium an Probestücken ermittelt wurden, deren Beschaffenheit aller Wahrscheinlichkeit nach derjenigen der Mondmaterie ähnlich ist.

Schon seit langem wurde die Eigenschaft der Polarisation des Lichtes als wertvolles Hilfsmittel der Astrophysik erkannt. Bereits 1811 führte Arago dahingehende Studien durch, ohne allerdings zu greifbaren Erfolgen zu gelangen. Seine Arbeiten wurden 1860 von Pater Secchi wieder aufgenommen, der aber die Methode nicht weiterentwickeln konnte. Erst zu Beginn dieses Jahrhunderts erhielten die

Versuche zur Identifizierung der Mond- und Planetenmaterie einen Platz in der Reihe der großartigen Meßmethoden der modernen Astronomie.

Von 1924 bis 1926 führte der französische Astronom Bernard Lyot eine große Reihe von Polarisationsmessungen an dem von der Mondoberfläche gestreuten Licht durch. Dasselbe führte er an einer großen Menge von Laboratoriumsmaterial durch und gelangte zu dem Ergebnis, die Mondoberfläche müsse von staubförmigem Material bedeckt sein, das vulkanischer Asche sehr ähnele. Seine Arbeiten verdienen große Bewunderung, nicht nur wegen der großen Genauigkeit, mit der sie durchgeführt wurden, sondern weil ihre Ergebnisse der Vollkommenheit der Instrumente zuzuschreiben sind, die Bernard Lyot selbst herrichtete oder gänzlich neu erfand. Sein Polarimeter und sein Koronograph sind dafür einzigartige Beispiele.

Die Untersuchungen des polarisierten Lichtes wurden von dem französischen Astronomen Audouin Dollfus, einem früheren Mitarbeiter von B. Lyot, fortgeführt. Er widmete sich unter anderem auch der Polarisation des Lichtes stark geneigter Mondschichten. Er wandte seine Aufmerksamkeit Böschungen zu, die man zweckmäßig durch den Grenzwinkel der Neigung kennzeichnet, der nicht überschritten werden darf, soll ein Staubbelag nicht abrutschen und den Hang entblößen. Von den übermäßig geneigten Schichten der Mondoberfläche sollte man mit Recht vermuten können, daß sie nicht vom gleichen Material bedeckt sind wie die horizontalen Flächen. Das Ergebnis war negativ. Die Messungen, die man an einer Klippe, der Geraden Wand, und an den Hängen eines Tales durchführte, haben gezeigt, daß überhaupt kein Polarisationsunterschied zwischen den Abhängen und den benachbarten Regionen besteht. Hatten die früheren Untersuchungen des Forschers auf den ununterbrochenen Zusammenhang einer Oberflächenstaubschicht hingewiesen, so durfte er nunmehr den Schluß ziehen, daß dieser Staub nicht nur dem Boden anhaftet, sondern daß er sich auch an Falten und Runzeln hält - offenbar unter der Wirkung von Kräften, die die Schwerkraft dort noch übertreffen.

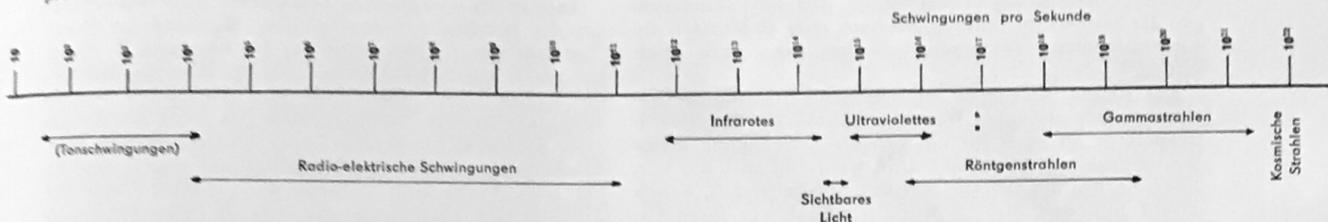
## Die Depolarisation

A. Dollfus trieb seine Untersuchungen noch weiter und erforschte das aschgraue Mondlicht. Die Absicht, die mit dieser weiteren Untersuchung verbunden war, erklärt sich wie folgt: Das aschgraue Mondlicht kommt, wie bereits vorn auseinandergesetzt worden ist, dadurch zustande, daß es von der Erde auf die uns zugewandte Mondhälfte zurückgeworfen wird, wenn die Mondscheibe zur Zeit des Neumondes nicht im direkten Sonnenlicht liegt. Durchläuft das Sonnenlicht die Erdatmosphäre, so wird es stark polarisiert. Jeder Körper aber, der von polarisiertem Licht getroffen wird, besitzt die Fähigkeit, die bei der Reflexion zugefügte Ungleichmäßigkeit der Schwingungsrichtungen wieder etwas auszugleichen. Diese Erscheinung nennt man Depolarisation. Das Ausmaß, in dem diese Depolarisation

vollzogen wird, hängt von der Natur des getroffenen Körpers ab, an dem sich der Ausgleich vollzieht. Dieser Depolarisationsgrad stellt genauso wie der Polarisationsgrad bei der vorausgegangenen Reflexion ein geeignetes Mittel dar, das zu einer gewünschten Identifikation verhelfen kann.

Eine derartige Erforschung des aschgrauen Mondlichtes hat auch noch eine weitere Bedeutung. Sie ermöglicht nicht nur eine Aussage über die gleichmäßige Beschaffenheit der Mondoberfläche, sondern liefert zugleich auch einige beachtliche Informationen über die Polarisation des Erdlichtes. Tatsächlich ist ja die Polarisation des aschgrauen Mondlichtes nichts anderes als die Polarisation des von der Erde reflektierten Lichtes - nur vom Monde aus gesehen und korrigiert um den Betrag der Depolarisation seitens

Abb. 46. - Übersicht über die Schwingungszahlen (Frequenzen) des Lichtes. In der Frequenzskala besetzen diejenigen des Lichtes nur eine geringe Breite; sie reichen von 375 Trillionen Schwingungen pro Sekunde des äußersten Rot bis zu 770 Trillionen Schwingungen pro Sekunde des äußersten Violett.



des Oberflächenmaterials des Mondes. Um diese Depolarisation nachzuprüfen, machte A. Dollfus mehrere Aufstiege in einem Freiballon und nahm ein Polarimeter mit. Er vermochte so von ziemlich großer Höhe aus die Polarisation des von der Erde kommenden Lichtes zu messen.

B. Lyots Ergebnisse wurden auf das bestimmteste und genaueste bestätigt: Der Mondboden ist sehr wahrscheinlich von einer Schicht bedeckt, die sich aus kleinen, unregelmäßigen und undurchsichtigen Körnern vulkanischer Asche zusammensetzt. Allem Anschein nach ist diese Schicht pulverförmig, sehr dünn und bedeckt den Mond an allen Punkten seiner Oberfläche.

In der Skala sämtlicher Strahlungsarten, zusammenge-

faßt zu einer Stufenfolge aller heutzutage der Wissenschaft bekannten und der Wellenlänge oder Schwingungszahl nach klassifizierten elektromagnetischen Schwingungen, nimmt das Licht nur einen äußerst schmalen Bereich ein. Es grenzt an die Bandbreite, die der Bereich der infraroten oder Wärmestrahlung ist. Hierbei wird der allmähliche Übergang zwischen den beiden Strahlungsbereichen nicht unterbrochen, die Eigenschaften der einen Strahlung wechseln nicht plötzlich in die der anderen hinüber, vielmehr vollzieht sich der Übergang ganz allmählich und fast unmerklich. Deshalb ist auch die Eigenart des Lichtes, dessen Wellenlänge dem dunklen Rot entspricht, derjenigen der Wärmestrahlung recht nahe verwandt (Abb. 46).

## Die Wärmestrahlung des Mondes

Wie alle Körper, die von Wärmestrahlung getroffen werden, schießt auch der Mond eine gewisse Menge der empfangenen Wärmestrahlung zurück. Ist diese Strahlung auch unsichtbar, so läßt sie sich dennoch mittels geeigneter Strahlungsempfänger auffangen und versieht die Astronomen mit sehr nützlichen Informationen, und zwar besonders über den Aufbau der tieferen unter den oberflächennahen Schichten des Mondes.

Es ist eine ganz allgemeine Eigenschaft aller Körper, daß sie sich nicht mit der gleichen Leichtigkeit von den verschiedenen Strahlungsarten durchdringen lassen. Ebenso wie sie entweder durchlässig oder undurchlässig für Licht sind, so weisen sie auch alle möglichen Abstufungen der Transparenz oder der Opazität gegenüber den anderen Strahlungsarten und somit auch gegenüber der Wärmestrahlung auf. Hierbei hat nicht nur die Natur des von der Wärmestrahlung getroffenen Körpers, sondern ebenso die Wellenlänge der auftreffenden Strahlung einen ganz bestimmten Einfluß auf die durchgelassene oder zurückgeworfene Strahlungsmenge. Aus dieser Eigenschaft ziehen die Astronomen Nutzen. Sie analysieren die vom Monde kommende Wärmestrahlung verschiedener Wellenlänge und können sich dann bis zu einem gewissen Grade den Aufbau der Mondoberfläche in verschiedener Tiefe vorstellen.

Die ersten Temperaturmessungen des Mondes wurden vor etwa 75 Jahren von Lord Rosse mittels eines Thermoelementes durchgeführt. Seine Messungen waren noch ziemlich ungenau, lediglich der Wert der Höchsttemperatur war nahezu derselbe, der auch neuerdings erhalten wurde. Später haben die amerikanischen Astronomen E. Pettit und S.B. Nicholson dieselbe Meßmethode wieder aufgenommen, benutzten aber ein wesentlich genauer arbeitendes Thermoelement, und zwar in Verbindung mit dem 250-cm-Spiegelteleskop vom Mount Wilson. Die Öffnung dieses Instrumentes war damals die größte unter allen gleichartigen Teleskopen, so daß die größtmögliche Wärmemenge aufgefangen werden konnte. Die beiden Forscher

konnten nachweisen, daß vom Monde Wärmestrahlung ausgeht, deren Wellenlänge sich von 8 bis 14 Mikron erstreckt und deren größte Intensität bei der Wellenlänge 10 Mikron, d. i. zehn Tausendstel Millimeter, liegt. Die Teile der Mondoberfläche, auf die die Sonnenstrahlung senkrecht auftrifft, erreichen eine Temperatur von etwas über 100 Grad C, während die unbeleuchteten Teile einer Temperatur von -150 Grad C ausgesetzt sind. Wichtig erscheint das Einzelergebnis, daß die Temperaturveränderung ohne merkliche Verzögerung der veränderlichen Sonneneinstrahlung folgt. Das bedeutet nichts anderes, als daß die Temperatur der Mondoberfläche bald ansteigt, sowie sich die Sonne über den Horizont der betreffenden Mondregion erhebt, und daß sie ebenso schnell wieder absinkt. Eine Bestätigung dieser Erscheinung wurde von den beiden Forschern im Verlaufe mehrerer Mondfinsternisse gefunden: In dem Augenblick, in dem der Erdschatten die Mondoberfläche verdunkelt, fällt die Temperatur ebenso schnell, wie sie am Ende der Verfinsternung wieder ansteigt.

Die Schlüsse, die man aus diesen Beobachtungen ziehen kann, sind bedeutend: Die sofortige Erwärmung besagt, daß die aufgefallene Wärmemenge nicht an benachbarte Regionen abgegeben wird, das Oberflächenmaterial ist somit ein schlechter Wärmeleiter. Wurde zum Vergleich die Wärmefortpflanzung in bekannten Stoffen herangezogen, so konnten Pettit und Nicholson recht genau die Natur und die Dichte des Mondmaterials bestimmen. Sie vertreten die Ansicht, daß es aus sehr feinem Staub besteht, dessen Korngröße ein Zehntel Millimeter nicht überschreitet, wobei die gesamte Schichtdicke nur wenige Millimeter beträgt.

Von der Strahlung, deren Wellenlänge diejenige der Infrarotstrahlung übertrifft, läßt sich in einem ziemlich breiten Bereich der gesamten Strahlungsskala keine Wärmestrahlung des Mondes ermitteln, wohl aber wird in dem Wellenlängenintervall von 1 bis 1,6 Millimeter wieder Wärme gemessen; z.B. hat der amerikanische Astrophysiker W. Sinton im Verlaufe der Mondfinsternis vom 18. Ja-

nuar 1954 eine Strahlung entdeckt, deren Wellenlänge bei 1,5 Millimeter lag. Aus der Stärke dieser aufgefangenen Strahlung schloß er, daß die Oberflächentemperatur des Mondes zwischen 30 Grad Wärme und 150 Grad Kälte schwankt. Ebenso zog er den Schluß, daß die Veränderungen der Sonneneinstrahlung erst nach etwa 45 Minuten die entsprechenden Temperaturveränderungen nach sich ziehen.

Aus diesen Messungen wurden neue Erkenntnisse gewonnen. Der geringere Wert, der sowohl für die Höchsttemperatur als auch für die gesamte Schwankung dieser Wärmestrahlung gefunden wurde, weiterhin auch die Verzögerung, mit der sich die Mondtemperatur ändert, weisen darauf hin, daß die 1,5 Millimeter-Strahlung ihren Ursprung in einer verhältnismäßig tiefen Schicht hat, die von der Sonnenstrahlung weniger beeinflusst wird als die äußerste Schicht des Mondbodens. Hierzu wurden Vergleichsmessungen an verschiedenem Gesteinsmaterial

durchgeführt, die den Schluß nahelegten, daß die Eigenschaften der obersten Mondsicht dieselben sind, wie wir sie von Basaltbrocken her kennen und die wir teils an Bimstein, teils an Meteoritenstücken wiederfinden.

Auch in der allerjüngsten Zeit wurden noch Beobachtungen der gleichen Art durchgeführt. Während der Mondfinsternis vom 13. März 1960 hat der Astronom W. Shortill am Mount-Wilson-Observatorium bemerkt, daß sich die Krater Tycho, Copernicus und Aristarchus weniger abkühlten als ihre Nachbargebiete; so blieb die Temperatur Tychos 40 bis 60 Grad höher. Sinton bestätigte diese Erscheinung während der Mondfinsternis vom 5. September 1960. Tycho hielt während der gesamten Dauer der Totalität eine Temperatur von etwa -35 Grad. Die Erklärung hierzu könnte vielleicht die sein: Die Staubschicht, die den Krater Tycho bedeckt, ist dünner als die seiner Umgebung; sie kann nur eine Dicke von 0,3 Millimeter haben.

## Die radio-elektrische Strahlung des Mondes

Eine dritte Strahlungsart, die ebenfalls vom Monde ausgeht und erst seit wenigen Jahren aufgefangen wird, hat ebenfalls einen beachtlichen Beitrag zum Studium der Mondoberfläche geleistet. Ihrer Wellenlänge nach schließt sie sich in der gesamten Skala der Wellenstrahlungen an die infrarote Strahlung an. Der Wissenschaftszweig, der sich mit der Erforschung dieser Strahlung beschäftigt, heißt Radio-Astronomie. Sie hat die Aufgabe, die verschiedensten Arten der elektromagnetischen Strahlung, die von den Sternen ausgesendet wird, aufzufangen und zu erforschen.

Die Untersuchungsmethoden der Radio-Astronomie sind für die Astronomen einzigartig, denn die Radio-Strahlung wird von keinem unserer Sinne bemerkt, im Gegensatz zu dem Lichte, das wir mit dem Auge empfinden und dessen Wellenlängen den einzelnen Farben des Regenbogens zugeordnet sind; auch für die Wärmestrahlung haben wir ein Sinnesorgan, das in unserer Haut seinen Sitz hat. Um aber die Radio-Strahlung aufzufangen, muß man über geeignete Empfangsapparaturen verfügen, die meist auf einen größeren Wellenlängenbereich abgestimmt werden können und deren Bedienung nicht nur spezielle Kenntnisse, sondern auch viel Geschick und Geduld erfordert.

Soweit sich die Forschungen der Radio-Astronomie bereits auf die Radio-Strahlung des Mondes bezogen, haben

sie wiederum das Gesetz von der Durchdringungsfähigkeit der Wellenstrahlung bestätigt: Je größer die Wellenlänge, aus desto tiefer liegenden Schichten des Mondbodens taucht die ausgesandte Strahlung herauf. Im Jahre 1949 entdeckten die australischen Astronomen J.H. Piddington und H.C. Minnet eine Mondstrahlung von 1,25 cm Wellenlänge. Sie stammt zweifellos aus tieferen Schichten als die Millimeterstrahlung. Diese Messungen zeigten außerdem, daß die Temperaturänderungen der oberflächennahen Schichten dem Wechsel der einfallenden Sonnenstrahlung nur mit einer Verzögerung von etwa 6 Stunden folgen und daß die Schwankung der Wärme dieser tieferen Lagen nur 2,5mal geringer war als diejenige, die man in der Wellenlänge von 10 Mikron gemessen hatte.

Noch neuer sind die Untersuchungen, die man an den Wellenlängen 8 Millimeter und 33 cm der Mondstrahlung angestellt hat, doch sind deren Ergebnisse noch nicht endgültig formuliert. Dennoch läßt sich sagen, daß sie vorerst keine gänzlich neue Information über die Dicke des staubbedeckten Mondbodens und über die Beschaffenheit des Mondmaterials selbst geliefert haben. Es besteht aber auch kein Zweifel, daß wir in der nächsten Zukunft noch wichtige Erkenntnisse von diesem Forschungszweig zu erwarten haben, sobald nur immer Untersuchungsergebnisse bekanntgemacht werden.

## Radarechos vom Monde

Ein letztes Forschungsverfahren, das sich der Wellenstrahlung bedient, ist das des Radar. Diese Methode geht überhaupt nicht darauf aus, eine Ausstrahlung aufzufangen, die ihren Ursprung im Monde hat, sondern sie fängt Echos von Radiosignalen auf, die eigens von einer Sendestation auf der Erde ausgesandt und zum Monde hin gerichtet worden sind. Radar ist nicht nur ein Funkmeßverfahren, das dazu dient, eine Entfernung zu bestimmen, wie z.B. die Entfernung des Mondes von der Erde, sondern es liefert auch durch die Analyse der Echos gewisse Hinweise auf die Natur der reflektierenden Körper. Die Aussagen der Radarmethode beziehen sich auf die groben Ausmaße des reflektierenden Körpers, die Aussagen der photometrischen Methode informieren uns über die feinere Struktur eines Körpers, und schließlich zergliedert die Polarimetrie die Lichtwellenlängen selbst noch, um über weitere Eigenschaften auszusagen; alles in allem ergänzen sich die drei genannten Forschungsmethoden gegenseitig.

Wird zum Monde ein Funksignal gesendet, so darf man hauptsächlich nur die Echos erwarten, die von dem zentralen Teil der Mondscheibe zurückkommen, also nur von einer kleinen Kugelkappe, deren Oberfläche als senkrecht zum gerichteten Signal betrachtet werden kann. Messungen ergaben, daß sich das Echo aus zwei Teilechos zusammensetzt: Das erste kommt von dem zentralen Teil der Mondscheibe zurück und umfaßt etwa 30% der ausgesandten Sendestärke, das zweite wird von den unregelmäßig gelagerten Oberflächenelementen erzeugt und entstammt der gesamten sichtbaren Mondscheibe.

Die bisherigen Ergebnisse, insonderheit die an den Zentralteilen der Mondscheibe angestellten, zeigen, daß im Verhältnis zur Größe der faßbaren Einzelheiten, d.h. in der Erstreckung von Kilometern, der Mond verhältnismäßig glatt ist; seine Hänge sind flach und sanft und nehmen nicht mehr als 10% der Oberfläche ein.

# XIII Der Ursprung der Mondformationen

Wenige Probleme haben in der wissenschaftlichen Welt so viele Diskussionen hervorgerufen und so viele Hypothesen veranlaßt wie diejenigen über den Ursprung der Mondformationen. Obwohl heute der ganze Fragenkomplex beträchtlich eingeeengt ist, bestehen nach wie vor mehrere Theorien, von denen jede ihre Fürsprecher hat. Diejenigen, die als erste die Frage aufgeworfen haben, versuchten verständlicherweise, die Entwicklung der Mondoberfläche mit derjenigen der Erdkruste zu vergleichen. Sie wurden so dazu gebracht, die zahllosen Unebenheiten und besonders die Krater, mit denen unser Mond geradezu

übersät ist, auf die Wirkung innerer Kräfte zurückzuführen. Diese Annahme gab zu verschiedenen Theorien Anlaß, die man als » vulkanische « und als » plutonische « kennzeichnen kann. In der Folge hielten die Männer der Wissenschaft ein Einwirken äußerer Kräfte für eher wahrscheinlich und rechneten die Entstehung der Krater dem Einschlagen von Weltkörpern mehr oder minder großen Ausmaßes zu. Diese Meteoritentheorie hatte von Anfang an nur wenig Vertreter, zu zahlreich waren die Einwände und zu schwierig war es, die zahlreichen Beobachtungstatsachen mit Meteoriten zu erklären.

## Die vulkanischen und plutonischen Theorien

Eine der ersten plutonischen Hypothesen wurde 1874 von Nasmyth und Carpenter aufgestellt. Diesen beiden Engländern zufolge wäre jeder Krater durch den Ausbruch eines Vulkans entstanden, der seine Lava um sich ausbreitet hat wie eine aus dem Boden sprudelnde Quelle. Der Ringwall wäre ganz am Anfang entstanden, als der Vulkan in der Zeit seines heftigsten Ausbruches die ausgeworfenen Massen weit fortgeschleudert hat. Nachfolgend bildeten sich in einer Zeit, in der die vulkanische Tätigkeit eine Abschwächung erfuhr, Terrassen aus. In gewissen Fällen hat sich zufolge eines letzten Lavaausbruches geringerer Gewalt ein zentraler Kegel aufgebaut. Vereinzelt hat dieser letzte Ausfluß das ganze Kratergrund ausgefüllt, womit die Erscheinungen an gewissen Formationen, wie an dem Krater Wargentín, erklärt wären.

So verführerisch die Theorie von Nasmyth und Carpenter auf den ersten Blick hin sein mag, so kann sie doch nicht gründlicher Nachprüfung standhalten. Sie darf sich auch nicht auf einen zuverlässigen Vergleich zwischen den vermeintlichen Mondvulkanen und den irdischen Vulkanen berufen. Letztere sind Gebirge, deren Formationen im Querschnitt die Gestalt eines Kegels haben und deren Gipfel von einer verhältnismäßig engen Öffnung durchbrochen ist. Ein Mondkrater dagegen ist eher ein zusammengedrücktes Gebilde mit einer sehr weiten Öffnung. Ein anderer vernichtender Hinweis besagt, daß jede beliebige Materie bei Ausstreuung auf dem flachen Boden Anhäufungen bildet, deren seitliche Hänge je nach der Art des Materials (Steine, Kies, Erde, Sand...) verschieden steil sind. Eine entsprechende Hangneigung ist aber niemals in dem umgebenden Ringwall eines Mondkraters erreicht worden. Weiter : wie konnte sich die Ausbreitung der Lava so gleichmäßig nach allen Richtungen hin vollziehen, besonders wenn es sich um Kreisflächen von 200 km Durchmesser handelt ? Endlich erklärt die in

Frage stehende Theorie nicht, warum der zentrale Kegel niemals die Höhe des Ringwalles erreicht.

Am Ende des vergangenen Jahrhunderts verkündeten die französischen Astronomen Loewy und Puiseux eine andere plutonische Hypothese, die zum großen Teil die bereits 1665 von dem englischen Arzt R. Hook, einem Zeitgenossen Newtons, geäußerten Gedanken wieder aufnahm. Wegen der geringen Dichte unseres Satelliten und seiner schwachen Schwerkraft wären die inneren Kräfte des Mondes groß genug gewesen, um die Mondkruste anzuheben, als der Mond noch in einem teigigen Zustand war. Blasen und Hohlräume hätten sich gebildet und wären ausgebrochen, so wie die Blasen an der Oberfläche eines Teiges zerspringen, den man aufgehen läßt. Beim Zusammensinken hätten sie die kreisförmigen Umrisse hinterlassen. Dann hätten die Expansionskräfte, soweit sie noch stark genug waren, am schwächsten Punkt, d. i. in der Kratermitte, einen neuen Durchbruch geschaffen. Hier hätte sich die Lava ergossen und eine zentrale Spitze erzeugt.

Verschiedene Astrophysiker haben vorgeschlagen, die Theorie von Loewy und Puiseux abzuändern ; sie haben besonders darauf hingewiesen, daß der Ausfluß von Lava durch Spalten in der Mondrinde zur Zeit ihrer allmählichen Erstarrung hervorgerufen sein könnte. Es seien langgezogene Einbruchszonen entstanden, durch deren weiteste Öffnungen das im Mondinnern noch flüssige Magma nach außen gepreßt worden sei und so eine Reihe von Aufwölbungen verschiedener Größe geschaffen hätte. Mit allmählicher Erkaltung hätte sich die Wirkung austretender Gasblasen noch fortgesetzt, die Lavadecke zum Einsturz gebracht und die Kreisflächen der Krater geschaffen. Diese Hypothese erklärt das Auftreten von Kraterketten oder -reihen längs Spalten, was nach diesen Selenographen nicht dem bloßen Zufall zuzuschreiben ist.

## Die Meteoritentheorie

Hier muß vor allem des deutschen Astronomen Gruithuisen (1774-1832), der der Vater der Meteoritentheorie ist, gedacht werden. Noch gegen Ende des 19. Jahrhunderts verteidigte der englische Physiker Proctor diese Theorie, jedoch ohne Erfolg. Man wendete hauptsächlich ein : wäre unser Satellit wirklich bombardiert worden, so müßte unsere Erde ebenfalls ein gut Teil von Einschlägen abbekom-

men haben, deren Ausmaße wären gleichfalls ganz ungeheuer, und ihre Anzahl müßte der größeren Erdoberfläche entsprechen. Demgegenüber sind die Spuren von Meteoriteneinschlägen auf unserer Erde sehr selten, und ihre Größe ist in keiner Weise mit denen der Mondkrater zu vergleichen. Warum, so muß man weiter fragen, sind die Mondkrater fast alle kreisrund, während es doch äußerst



Photo 33. - Der Barringer-Krater bei Winslow, Arizona.

(Photo Arizona Highways.)

wahrscheinlich ist, daß die einschlagenden Weltenkörper viel häufiger schräg statt senkrecht aufgetroffen wären? Die ausgeworfenen Trichter müßten in den allermeisten Fällen länglichen Umriß haben.

Von diesen Einwänden sind manche neuerdings wieder abgekommen, als die Kriege der letzten Jahrzehnte die Vorstellungen von Gruithuisen und Proctor wieder in Erinnerung brachten. Es schien eine gewisse Ähnlichkeit zu bestehen zwischen dem Anblick der Mondoberfläche und einem Gelände, das durch Artilleriebeschuß, Bombenwurf oder Minenexplosion verwüstet worden war. Ein erneutes Studium der Meteoritentheorie ließ ihre Verteidiger vor allem zu dem oben zuerst genannten Einwand Stellung nehmen. Wenn unsere Erde nicht im gleichen Maße wie der Mond Einschläge aufweist, so deshalb, weil sie von einer Atmosphäre umgeben ist. Täglich dringen mehrere Tonnen von Meteoren in die Erdatmosphäre ein. Diese erhitzen sich beim schnellen Durchlaufen der Luftschichten derart, daß sie aufleuchten und im Nu vergehen. Es handelt sich um die leuchtenden Pünktchen, die wir oft während der Nacht am Himmel sehen und als Sternschnuppen bezeichnen. Es kommt sogar, allerdings im Verhältnis zur großen Gesamtzahl äußerst selten, vor, daß gewisse dieser Weltkörperchen bis zum Erdboden herunterkommen. Sie werden Meteorite genannt. Dann entstehen zuweilen riesenhafte Einschlagstrichter wie z.B. der Krater von Arizona (Photo 33).

Zu dieser Verdampfung der Meteore in der Erdatmosphäre kommt noch eine weitere Tatsache großer Tragweite hinzu, die ebenfalls das seltene Vorkommen von Einschlagspuren auf der Erde zu erklären vermag. Das ist die abschürfende Tätigkeit von Wasser, Eis und Wind, kurz gesagt die Erosion. Sie wirkt sich so gut wie nur auf der Erde aus, denn bei ihr spielt das Wasser die größte Rolle; das aber ist auf dem Monde nicht vorhanden. Im Maße der geologischen Zeiträume beginnt sogar die Ab-

schürfung der irdischen Meteoritenkrater sofort bei ihrer Entstehung.

Es lassen sich auch weitere Überlegungen anstellen: Wenn alle Mondkrater auf Meteoriteneinschläge zurückzuführen sind, so müßten wir auch heutzutage Zeuge solcher Katastrophen sein, dann könnte es keine Auseinandersetzung mehr darüber geben. Aber mit dieser Überlegung kann man der Meteoritentheorie nicht beikommen. Man schätzt nämlich, daß unsere Erde alle zweihundert Jahre von einem Meteorit großer Masse getroffen wird. Der Mond hat eine 13,5mal kleinere Oberfläche als die Erde; folglich kann er auch nur alle 2700 Jahre von einem großen Meteorit getroffen werden. Weil der Erdenbewohner aber nur knapp 60 % der Mondoberfläche übersieht, kann er erst nach je 4500 Jahren das Entstehen eines neuen Mondkraters mit ansehen. Diese lange Wartezeit vermag selbst die geduldigsten Beobachter zu entmutigen; sie zieht aber auch weitere Schlußfolgerungen nach sich. Man kennt heute mehr als 20 000 Mondkrater, die obiger Berechnung zufolge rund 100 Millionen Jahre zu ihrer Entstehung fordern. Das braucht nicht zu überraschen, wenn man sich nur das vermutliche Alter des Mondes (4,5 Milliarden Jahre) ins Gedächtnis zurückruft. In dieser langen Lebenszeit sollten sogar viel mehr Krater entstanden sein, die aber später wieder eingeebnet wurden, sofern die Meteoriteneinschläge immer mit derselben Häufigkeit erfolgten. Wie soll man sich ein derartiges Abschürfen vorstellen, wenn unser Mond keiner Erosionswirkung unterliegt? Die zerstörenden Kräfte, die wir von der Erde her kennen, existieren auf dem Monde nicht; entblößt von Wasser und Luft kennt unser Satellit weder Regen noch Wind, noch die abtragende Wirkung der Wasserläufe; diese Kräfte haben zusammengewirkt, um unseren Bergen ihre runde oder zackige Gestalt zu geben. Er ist deshalb eine für den Leser noch offene Frage, ob andere Kräfte in der Lage gewesen sind, der Mondoberfläche ihr heutiges Aussehen zu geben.

## Die Erosion auf dem Monde

Einige Wissenschaftler haben erörtert, ob die Temperaturschwankungen, die auf dem Monde ziemlich schnell eintreten, nicht eine Umbildung der Gesteinsmassen bewirken und schließlich zu einem langsamen Zerbröckeln führen. Andere haben daran erinnert, daß Ultraviolett- und

Höhenstrahlung allmählich das Gefüge gewisser Kristallgitter zerstören können. Diesen Vermutungen ist A. Dollfus nachgegangen und hat die Kräfte berechnet, die bei plötzlichen Temperaturstürzen nach Sonnenuntergang und im Verlaufe von Mondfinsternissen im Innern der Gesteins-

massen wirken. Seine Schlußfolgerungen lauten, daß die Hitzeänderungen nicht in der Lage sind, ein allmähliches Zerbröckeln hervorzurufen und deshalb auch nicht die Überstäubung des Mondbodens erklären können.

Dennoch gibt es unter den charakteristischen Oberflächengebilden unseres Satelliten einige, die Hinweise auf die Bildung und Ablagerung von Mondstaub geben können. Das sind die Strahlensysteme. Nur die jüngeren Krater besitzen sie, woraus ersichtlich ist, wie schnell und leicht sie entstehen und vergehen. Soweit ihre Beschaffenheit mit photometrischen und polarimetrischen Methoden erforscht ist, hat sich gezeigt, daß das Strahlenmaterial dem ihrer Umgebung gleich und nur mehr verkleinert ist. Man betrachtet deshalb die Strahlen als Staubablagerungen, die von Bruchstücken erzeugt wurden, die nach der ursprünglichen Kraterexplosion ausgeschleudert worden sind. Die Dicke dieser Staubschicht ist wahrscheinlich zu gering, als daß sie durch die zerstäubende Wirkung der unaufhörlichen Meteoriteneinschläge geschaffen sein könnte. Vielmehr ist anzunehmen, daß die beständige Durchlöcherung des Mondbodens ausreicht, um die Strahlensysteme nach und nach zum Verschwinden zu bringen. Alles in allem darf man sagen, daß der Abbau des Mondreliefs zufolge der sich unaufhörlich wiederholenden Meteoriteneinschläge wahrscheinlich den Hauptanteil der Mondero-

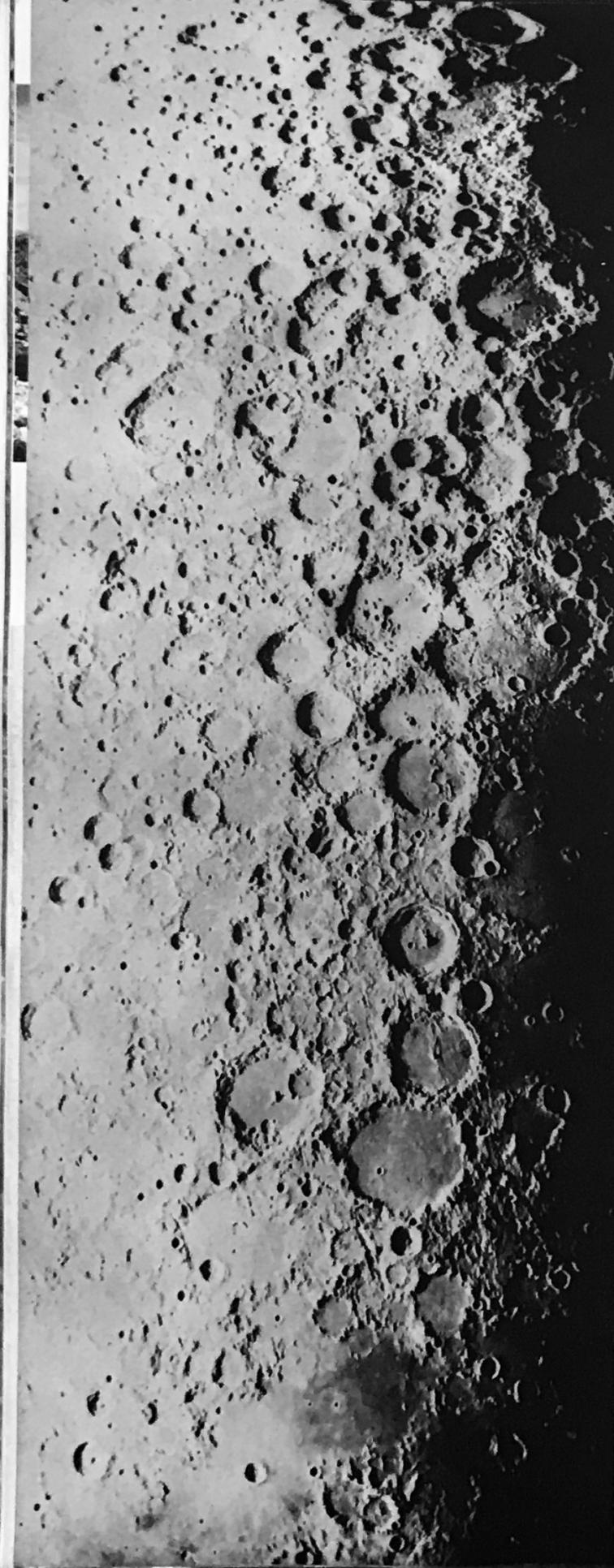
sion darstellt. N.N. Sitinskaja, die die vermutliche Anzahl der Mikrometeoriteneinschläge auf dem Monde mit der Menge der kosmischen Staubteilchen, die von künstlichen Satelliten registriert worden sind, verglichen hat, bestätigt diese Ansicht.

Ein einzigartiger Hinweis auf die Monderosion wird dem Beobachter dadurch gegeben, daß er das Alter einiger Formationen unseres Satelliten einigermaßen genau bestimmen kann. Sehr alte Krater, wie z.B. Clavius, haben keinen scharfen Grat, und ihre nur schwach angedeuteten Ränder sind zuweilen von später entstandenen Kratern überlagert. Solche alten Gebilde haben niemals Strahlenkränze. Die ältesten, wie Stadius, scheinen sogar größtenteils mit Staub angefüllt oder mit neuem Material überdeckt zu sein; man kann sie nur an einem unbestimmten Umriß erkennen. Junge Krater machen sich demgegenüber durch rissige Wälle, zackige Grate und oft durch ein Strahlensystem kenntlich. In vielen Fällen greifen sie ganz offensichtlich über alte Formationen hinweg (Photo 34).

Photo 34. - Das Alter der Krater. Zwei Krater sehr unterschiedlichen Alters liegen hier beieinander. Rechts der große Krater Copernicus, eine junge Bildung mit scharfen Kanten und einem Strahlensystem. In der Mitte in der gleichen Höhe liegt Stadius, eine sehr alte Bildung, fast vollständig von Staub bedeckt.

(Photo Observatorium Mount Wilson und Palomar 500 cm Spiegel.)





## Verteidigung der Meteoritentheorie

Wenn sich die Mondkrater untereinander auch deutlich nach Alter und Größe unterscheiden, so wird ihr Aufbau nichtsdestoweniger von einer durchgehenden Regel beherrscht. Artilleristen und Sprengfachleute kennen genau die feststehende Beziehung, die zwischen Durchmesser und Tiefe eines Sprengtrichters besteht, ganz gleich, wie groß diese beiden sind. Der amerikanische Gelehrte R.B. Baldwin hat die Allgemeingültigkeit dieser Beziehung nachweisen wollen und hat seine Untersuchungen bis auf die lange Skala der Mondkrater ausgedehnt. Er hat alle Kennzeichen sämtlicher tatsächlicher oder vermutlicher Einschlagtrichter, von den kleinsten, durch leichte Bomben entstandenen angefangen bis zu den größtmöglichen, den Mondkratern, zusammengestellt. Seine Ergebnisse lassen sich in der Form zusammenfassen: Durchmesser und Tiefe der Trichter hängen voneinander ab und ändern sich von Trichter zu Trichter kontinuierlich.

Unter allen Fragen, auf die die Meteoritentheorie eine Antwort geben sollte, ist die schwierigste die nach dem maßlosen Unterschied in der Größe der Mondkrater und derjenigen der wenigen Erdkrater, die nachweislich den gleichen Ursprung haben. Man muß sich vor Augen halten: verpflanzte man den Arizona-Krater auf die Mondoberfläche, so würde er dort kaum einen Kleinkrater abgeben.

Mehrere Astrophysiker, besonders T. Gold, Öpik und Baldwin, haben die Vorgänge beim Einschlag von Meteoriten studiert. Insbesondere hat der letzte glaubhaft machen können, daß man im allgemeinen die Größe eines Körpers, der beim Aufschlag auf die Mondoberfläche einen der bekannten, riesigen Trichter erzeugt, überschätzt. Da die Schwerkraft des Mondes sechsmal kleiner ist als die Erde, so würde ein auf dem Mond geschaffener Einschlagtrichter notwendigerweise sechsmal größer sein, sofern nur dieselbe Energie im Spiele wäre. Weil die Oberflächenkrümmung der Mondes offensichtlich viel stärker ausgeprägt ist, würden die herausgeworfenen Massen natürlich auch in einen weiteren Umkreis verstreut werden, und die Weite des Auswurfes wird zudem nicht durch die Bremswirkung einer Atmosphäre verringert. Weiterhin erreicht die Aufschlaggeschwindigkeit der Meteoriten einige zehn Kilometer und liegt somit höher als die Ausbreitungsgeschwindigkeit mechanischer Erschütterungen im Mondmaterial. Daraus folgt, daß die Wucht des Aufpralls, die sich sofort in Wärme umsetzt, nicht nur die Bruchstücke des Meteoriten, sondern auch den unmittelbar betroffenen Teil des Mondbodens verdampft. Solche Aufschläge sind ihrer Wirkung nach regelrechte Explosionen. Durch verhältnismäßig kleine Himmelskörper können auf diese Weise große Breschen geschlagen werden, auch wenn der Boden nicht besonders weich ist. Wichtig ist auch, ob sich die beim Aufschlag entstehende Stoßwelle mit Überschallgeschwindigkeit ausbreitet; dann nimmt nämlich der Trichter immer die kreisrunde Form an, und ganz gleichgültig ist dabei, unter welchem Winkel der Einschlag erfolgt ist. Diese Tatsache beantwortet einen der Haupteinwände gegen die Meteoritentheorie.

Um seine Thesen zu stützen hat Baldwin auch Versuche

Photo 35. - Zentralberge. Auf dieser Aufnahme einer zentralen Gegend der Mondoberfläche erkennt man leicht Krater mit einem zentralen Berg oder Gebirgsstock. Man beachte auch die zahlreichen Streifen, die fast alle von N nach S laufen.

(Photo Observatorium Pic du Midi.  
Mondalter 8.55 Tage.)

Rechts:

Photo 36. - Mare Imbrium.

(Photo Observatorium Mount Wilson und Palomar.  
250 cm Spiegel.)



im kleinen Rahmen über die Wirkung von Mehrfacheinschlägen durchgeführt. Sie haben ergeben, daß ein Geschoß ohne jegliche Sprengladung immer explodiert, wenn es mit einer größeren Aufschlaggeschwindigkeit als 6 Kilometer pro Sekunde auf einen festen Körper auftrifft.

Das Auftreten zentraler Erhebungen oder gar massiver Berge in den kreisrunden Kratern bleibt nach wie vor Gegenstand der Auseinandersetzungen zwischen Anhängern und Gegnern der Meteoritentheorie. Baldwin sieht hier zwei mögliche Erklärungen. Entweder hat die ungeheure Kraft, mit der der Meteorit in die oberen Schichten des Mondes eingedrungen ist, zu einem Emporschlagen der Materie geführt oder die Explosion hat sich nicht in einem

## Die Entstehung der Mondmeere

Wenn der Aufschlag von Meteoriten auf die Mondoberfläche die Entstehung der Mondkrater so zwanglos erklärt, sollte er auch die Grundlage liefern, auf der sich die Entstehung der Meere erklären läßt. Diese Frage hat sich bereits im Jahre 1892 der amerikanische Wissenschaftler G.K. Gilbert vorgelegt. Die Aufmerksamkeit dieses frühen Vertreters der Meteoritentheorie wurde durch die eigenartige Orientierung gewisser Furchen, die das Mare Imbrium durchziehen, erregt; daraufhin äußerte er die Ansicht, daß dieses Meer durch den Einschlag eines gewaltigen Meteoriten erzeugt worden ist. Gegenwärtig wird dieser Erklärung nicht nur von vielen Forschern zugestimmt, sondern sie wird auch zur Deutung anderer Mondmeere, die gleiche Erscheinungen zeigen, herangezogen. Tatsache ist, daß die acht großen Meere der Mondoberfläche alle kreisförmigen Umriß haben. Da man aber zu Gilberts Zeiten noch nicht herausgefunden hatte, daß die Explosion eines Meteoriten ohne Rücksicht auf seinen Auftreffwinkel zu diesem speziellen Umriß führt, neigte man eher dazu, diesen Tatbestand als Beweismittel gegen die Meteortheorie anzusehen.

Für R.B. Baldwin spielte sich eine derartige kosmische Katastrophe so ab: Eine Masse Nickeleisen von beiläufig 15 km Durchmesser nähert sich von Nord-Osten dem Monde und stürzt an der Stelle nieder, die heute die Bezeichnung Sinus Iridum trägt. Sie bohrt sich allmählich schräg in den Boden ein, über dem entstandenen Loch am Ende der Spur erhebt sich eine Aufwölbung. Die Nickel-eisenmasse explodiert und schleudert ganze Blöcke von Materie und Staubwolken in alle Richtungen hinaus. Die ausgeworfenen Blöcke schneiden ringsum in den Boden ein, und im Süden und Westen bauen sich die Gebirgsketten auf, die wir heute Apenninen, Kaukasus, Alpen und Karpaten nennen. Sie umfassen größtenteils die Massen der anfänglichen Aufwölbung, die sofort nach der ersten Berührung als Bremse gewirkt hatte. Vereinzelt Auswürfe schaffen die isolierten Bergkegel wie Pico und Piton. Zufolge der gewaltigen Energiemenge, die bei dem Zusammenstoß frei geworden ist, setzt ein weit um sich greifender Schmelzprozeß ein. Große Massen von Lava entstehen und füllen nicht nur die Einbruchsstelle, sondern auch alle anderen, bereits bestehenden Einsenkungen in der Nähe. Die hohe Temperatur dieser flüssigen Masse ermöglicht es, daß sie sich mehrere Tage lang ausbreitet, bevor sie zähflüssig wird. Schätzt man die Geschwindigkeit dieser Ausbreitung auf 24 km/h, so kann sie sich auf eine Entfernung von 2400 km hin ausbreiten. Auf diese Weise füllen sich nach Südosten zu die benachbarten Niederungen mit Lava und sind zum Mare Nubium und Oceanus Procellarum geworden, während nach Südwesten zu Mare Serenitatis, Mare Tranquillitatis, Mare Foecunditatis und Mare Nectaris angefüllt werden (Photos 36 und 37).

vollzogen und nicht sofort sämtliche Trümmer aus der Einschlagöffnung ausgeworfen. Diese Erklärung ist um so überzeugender als sich eine gleichartige Erscheinung häufig in Bombentrichtern zeigt, ganz besonders dann, wenn es sich um Bomben mit verzögerter Zündung handelt. Nach G.P. Kuiper handelt es sich jedoch vielmehr um ein isostatisches Problem, d.h. um die spontane Wiederherstellung des gestörten Gleichgewichtes in der Mondkruste, wobei diese nach der Explosion von sich aus die Unterschiede in der Dichte und Schwere der Schichten ausgleicht. Dazu wird eine bestimmte Menge Lava durch die Einschlagöffnung herausgepreßt und eine zentrale Erhebung geschaffen (Photo 35).

Obwohl die Hypothese Baldwins von einer großen Anzahl von Wissenschaftlern im großen und ganzen anerkannt ist, geben gewisse Einzelheiten Anlaß zu weiterer Diskussion; das gilt besonders für das Auseinanderfließen der flüssigen Massen in andere Niederungen. Tatsächlich findet sich keinerlei Spur, die das Auseinanderfließen bezeugen könnte. Vielmehr neigen manche Astronomen zu der Vermutung, daß die anderen Meere durch gleichartige, aber unabhängig voneinander eingetretene Ereignisse geschaffen worden sind. Wie dem auch sei, nach dem Anblick der verschiedenen Meere zu urteilen, scheint es, daß sie sich später als die großen Krater gebildet haben, nur von denjenigen abgesehen, die ein Strahlensystem aufweisen.

G.P. Kuiper ist nicht der Meinung, daß die flüssige Materie dem Schmelzprozeß der Meteorite entstammt; er glaubt vielmehr, daß ein Ausfluß aus dem Mondinnern stattgefunden hat, als die Radioaktivität des Mondes ihre größte Stärke besaß. Die damit einhergehende Erwärmung habe den Kern fast bis zur Oberflächenschicht herauf verflüssigt. Große Meteorite haben dann genug Kraft besessen, um die Kruste zu durchschlagen und das Ausfließen der Flüssigkeit herbeizuführen. Nach wie vor sollen indessen Meteorite fortgesetzt Krater typischer Form geschaffen haben.

Der amerikanische Gelehrte Urey ist wieder anderer Meinung: Ihm zufolge hätte die Verflüssigung des Mondkernes die Festigkeit der Kruste beträchtlich vermindert, und große Formationen, wie die Mondgebirge, hätten sich dann gegeneinander verschoben. Er vertritt deshalb, wie übrigens auch Baldwin, die Ansicht, daß die flüssige Materie der Verflüssigung der Meteoriten und der von diesen getroffenen Mondschichten entstammt, billigt aber dem auftretenden Weltkörper nur eine Geschwindigkeit von 2 bis 3 km/s zu. Dagegen war nach ihm die Masse der Meteoriten beträchtlich größer, nämlich wie die der Asteroiden. So sollte der Körper, dessen Auftreffen das Mare Imbrium erzeugt hat, einen Durchmesser von rund 200 km gehabt haben.

Die Hypothese, nach der die Entstehung der Meere durch große Meteoriteneinschläge eingeleitet worden ist, erklärt zugleich auch das Auftreten von großen Streifen auf der Mondoberfläche. Hier stimmen die Ansichten von Baldwin, Urey und Kuiper vollkommen miteinander überein. Die Geschosse, als welche die nach allen Richtungen herausgeschleuderten Materieblöcke angesehen werden können, sind in der Lage, lange Einschnitte in das Silikatgestein des Mondbodens einzugraben. Einzelne Blöcke, denen die Streifen zuzurechnen sind, können an deren Ende ausgemacht werden. Diese sichtbaren Furchen sind in jedem Falle nur schwer zu erkennen. Weil sie sich bei

Photo 37. - Verbindung zwischen Mare Imbrium und Mare Serenitatis. Durch diese Öffnung ist nach R. B. Baldwin die Lava in das Mare Serenitatis eingedrungen.

(Photo Observatorium Pic du Midi.)  
30. Mai 1944, 20.50 Uhr WZ.  
Mondalter 8,55 Tage.

einer bestimmten Beleuchtung fendem Lichteinfall, entzogen von ihnen jeglicher Beobachtung.  
Will man das Auftreten der Mondoberfläche erklären,

## Sichtbare Veränderungen

Eine Auseinandersetzung der Formationen wäre unvollständig ohne eine spezielle Frage, die eine große Zahl von Selenographen ausgiebige Diskussionen hervorgerufen hat. Augenblick an, seitdem Mondmissionen angestellt wurden, ist danach, ob nicht Anzeichen

im kleinen Rahmen über die Wirkung von Mehrfacheinschlägen durchgeführt. Sie haben ergeben, daß ein Geschloß ohne jegliche Sprengladung immer explodiert, wenn es mit einer größeren Aufschlaggeschwindigkeit als 6 Kilometer pro Sekunde auf einen festen Körper auftrifft.

Das Auftreten zentraler Erhebungen oder gar massiver Berge in den kreisrunden Kratern bleibt nach wie vor Gegenstand der Auseinandersetzungen zwischen Anhängern und Gegnern der Meteoritentheorie. Baldwin sieht hier zwei mögliche Erklärungen. Entweder hat die ungeheure Kraft, mit der der Meteorit in die oberen Schichten des Mondes eingedrungen ist, zu einem Emporschlagen der Materie geführt oder die Explosion hat sich nicht in einem

vollzogen und nicht sofort sämtliche Trümmer aus der Einschlagöffnung ausgeworfen. Diese Erklärung ist um so überzeugender als sich eine gleichartige Erscheinung häufig in Bombentrichtern zeigt, ganz besonders dann, wenn es sich um Bomben mit verzögerter Zündung handelt. Nach G.P. Kuiper handelt es sich jedoch vielmehr um ein isostatisches Problem, d.h. um die spontane Wiederherstellung des gestörten Gleichgewichtes in der Mondkruste, wobei diese nach der Explosion von sich aus die Unterschiede in der Dichte und Schwere der Schichten ausgleicht. Dazu wird eine bestimmte Menge Lava durch die Einschlagöffnung herausgepreßt und eine zentrale Erhebung geschaffen (Photo 35).

## Die Entstehung der Mondmeere

Wenn der Aufschlag von Meteoriten auf die Mondoberfläche die Entstehung der Mondkrater so zwanglos erklärt, sollte er auch die Grundlage liefern, auf der sich die Entstehung der Meere erklären läßt. Diese Frage hat sich bereits im Jahre 1892 der amerikanische Wissenschaftler G.K. Gilbert vorgelegt. Die Aufmerksamkeit dieses frühen Vertreters der Meteoritentheorie wurde durch die eigenartige Orientierung gewisser Furchen, die das Mare Imbrium durchziehen, erregt; daraufhin äußerte er die Ansicht, daß dieses Meer durch den Einschlag eines gewaltigen Meteoriten erzeugt worden ist. Gegenwärtig wird dieser Erklärung nicht nur von vielen Forschern zugestimmt, sondern sie wird auch zur Deutung anderer Mondmeere, die gleiche Erscheinungen zeigen, herangezogen. Tatsache ist, daß die acht großen Meere der Mondoberfläche alle kreisförmigen Umriß haben. Da man aber zu Gilberts Zeiten noch nicht herausgefunden hatte, daß die Explosion eines Meteoriten ohne Rücksicht auf seinen Auftreffwinkel zu diesem speziellen Umriß führt, neigte man eher dazu, diesen Tatbestand als Beweismittel gegen die Meteortheorie anzusehen.

Für R.B. Baldwin spielte sich eine derartige kosmische Katastrophe so ab: Eine Masse Nickeleisen von beiläufig 15 km Durchmesser nähert sich von Nord-Osten dem Monde und stürzt an der Stelle nieder, die heute die Bezeichnung Sinus Iridum trägt. Sie bohrt sich allmählich schräg in den Boden ein, über dem entstandenen Loch am Ende der Spur erhebt sich eine Aufwölbung. Die Nickelleisemasse explodiert und schleudert ganze Blöcke von Materie und Staubwolken in alle Richtungen hinaus. Die ausgeworfenen Blöcke schneiden ringsum in den Boden ein, und im Süden und Westen bauen sich die Gebirgsketten auf, die wir heute Apenninen, Kaukasus, Alpen und Karpaten nennen. Sie umfassen großenteils die Massen der anfänglichen Aufwölbung, die sofort nach der ersten Berührung als Bremse gewirkt hatte. Vereinzelt Auswürfe schaffen die isolierten Bergkegel wie Pico und Piton. Zufolge der gewaltigen Energiemenge, die bei dem Zusammenstoß frei geworden ist, setzt ein weit um sich greifender Schmelzprozeß ein. Große Massen von Lava entstehen und füllen nicht nur die Einbruchsstelle, sondern auch alle anderen, bereits bestehenden Einsenkungen in der Nähe. Die hohe Temperatur dieser flüssigen Masse ermöglicht es, daß sie sich mehrere Tage lang ausbreitet, bevor sie zähflüssig wird. Schätzt man die Geschwindigkeit dieser Ausbreitung auf 24 km/h, so kann sie sich auf eine Entfernung von 2400 km hin ausbreiten. Auf diese Weise füllen sich nach Südosten zu die benachbarten Niederungen mit Lava und sind zum Mare Nubium und Oceanus Procellarum geworden, während nach Südwesten zu Mare Serenitatis, Mare Tranquillitatis, Mare Foecunditatis und Mare Nectaris angefüllt werden (Photos 36 und 37).

Obwohl die Hypothese Baldwins von einer großen Anzahl von Wissenschaftlern im großen und ganzen anerkannt ist, geben gewisse Einzelheiten Anlaß zu weiterer Diskussion; das gilt besonders für das Auseinanderfließen der flüssigen Massen in andere Niederungen. Tatsächlich findet sich keinerlei Spur, die das Auseinanderfließen bezeugen könnte. Vielmehr neigen manche Astronomen zu der Vermutung, daß die anderen Meere durch gleichartige, aber unabhängig voneinander eingetretene Ereignisse geschaffen worden sind. Wie dem auch sei, nach dem Anblick der verschiedenen Meere zu urteilen, scheint es, daß sie sich später als die großen Krater gebildet haben, nur von denjenigen abgesehen, die ein Strahlensystem aufweisen.

G.P. Kuiper ist nicht der Meinung, daß die flüssige Materie dem Schmelzprozeß der Meteorite entstammt; er glaubt vielmehr, daß ein Ausfluß aus dem Mondinnern stattgefunden hat, als die Radioaktivität des Mondes ihre größte Stärke besaß. Die damit einhergehende Erwärmung habe den Kern fast bis zur Oberflächenschicht herauf verflüssigt. Große Meteorite haben dann genug Kraft besessen, um die Kruste zu durchschlagen und das Ausfließen der Flüssigkeit herbeizuführen. Nach wie vor sollen indessen Meteorite fortgesetzt Krater typischer Form geschaffen haben.

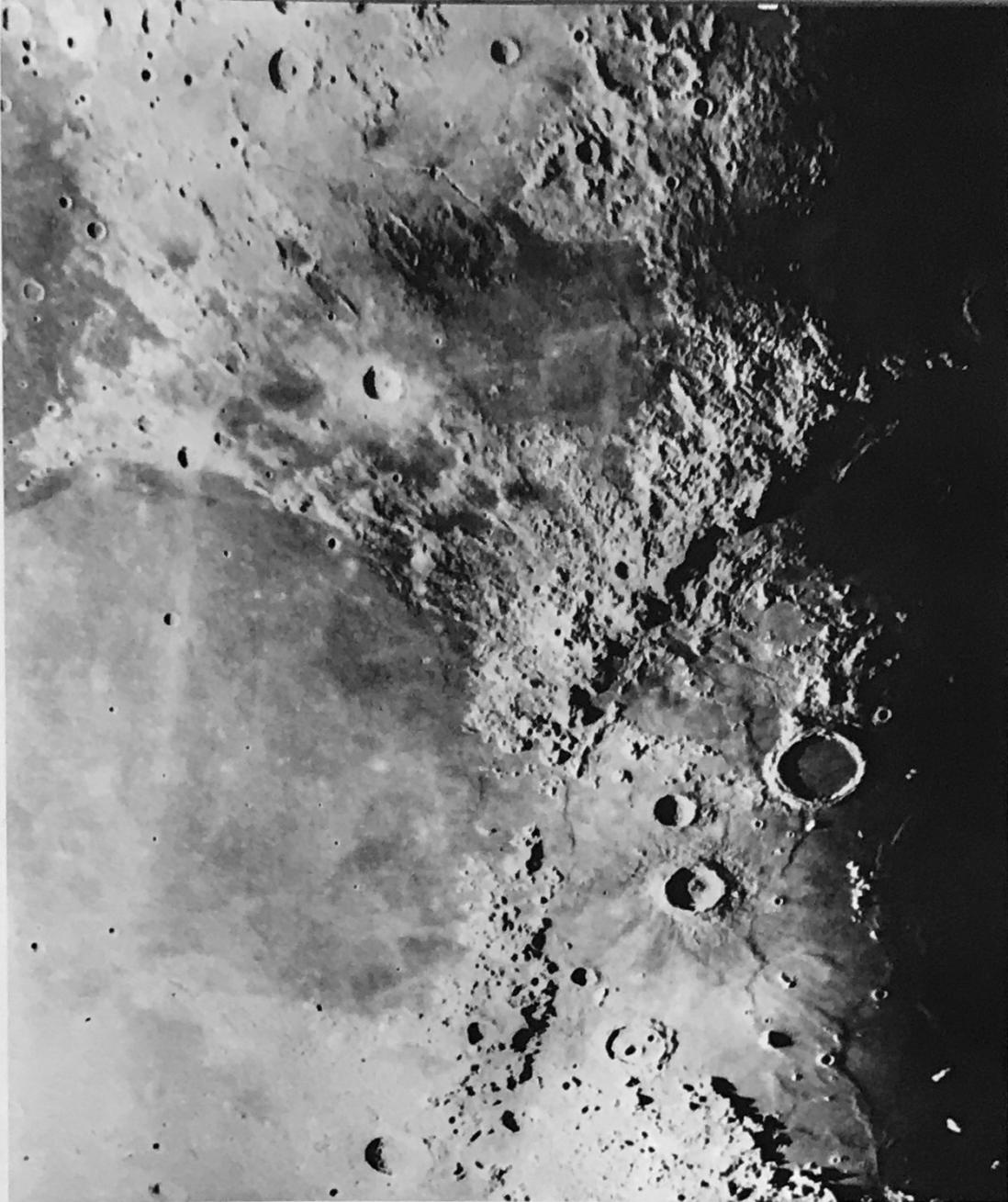
Der amerikanische Gelehrte Urey ist wieder anderer Meinung: Ihm zufolge hätte die Verflüssigung des Mondkernes die Festigkeit der Kruste beträchtlich vermindert, und große Formationen, wie die Mondgebirge, hätten sich dann gegeneinander verschoben. Er vertritt deshalb, wie übrigens auch Baldwin, die Ansicht, daß die flüssige Materie der Verflüssigung der Meteoriten und der von diesen getroffenen Mondschichten entstammt, billigt aber dem auftreffenden Weltkörper nur eine Geschwindigkeit von 2 bis 3 km/s zu. Dagegen war nach ihm die Masse der Meteoriten beträchtlich größer, nämlich wie die der Asteroiden. So sollte der Körper, dessen Auftreffen das Mare Imbrium erzeugt hat, einen Durchmesser von rund 200 km gehabt haben.

Die Hypothese, nach der die Entstehung der Meere durch große Meteoriteneinschläge eingeleitet worden ist, erklärt zugleich auch das Auftreten von großen Streifen auf der Mondoberfläche. Hier stimmen die Ansichten von Baldwin, Urey und Kuiper vollkommen miteinander überein. Die Geschosse, als welche die nach allen Richtungen herausgeschleuderten Materieblöcke angesehen werden können, sind in der Lage, lange Einschnitte in das Silikatgestein des Mondbodens einzugraben. Einzelne Blöcke, denen die Streifen zuzurechnen sind, können an deren Ende ausgemacht werden. Diese sichtbaren Furchen sind in jedem Falle nur schwer zu erkennen. Weil sie sich bei

Photo 37. - Verbindung zwischen Mare Imbrium und Mare Serenitatis. Durch diese Öffnung ist nach R. B. Baldwin die Lava in das Mare Serenitatis eingedrungen.

(Photo Observatorium Pic du Midi.)

30. Mai 1944, 20.50 Uhr WZ.  
Mondalter 8,55 Tage.



einer bestimmten Beleuchtung zeigen, nämlich bei streifendem Lichteinfall, entziehen sich wahrscheinlich viele von ihnen jeglicher Beobachtung.

Will man das Auftreten von Runzeln und Falten in der Mondoberfläche erklären, so muß man es mit Spannungen

und Pressungen in Zusammenhang bringen. Diese können durch heftige Mondbeben, wie sie durch Meteoriteneinsturz ausgelöst werden, entstanden sein, oder sie sind die Folge der großen Temperaturveränderungen bei dem Entstehen der großen Lavafelder gewesen (Photo 38).

### Sichtbare Veränderungen auf dem Monde

Eine Auseinandersetzung über den Ursprung der Mondformationen wäre unvollständig, erwähnte sie nicht auch eine spezielle Frage, die seit vielen Generationen eine große Zahl von Selenographen leidenschaftlich erregt und ausgiebige Diskussionen hervorgerufen hat. Vom ersten Augenblick an, seitdem Mondbeobachtungen mit Instrumenten angestellt wurden, suchten die Mondbeobachter danach, ob nicht Anzeichen für ein Leben oder wenigstens

von Bewegungen auf dem Monde zu entdecken seien. Viele glaubten, Veränderungen im Aussehen gewisser Formationen festgestellt zu haben, und einige dieser vermeintlich gefundenen Veränderungen wurden nachgerade berühmt. Einer der typischsten Fälle hierfür ist der des Kraters Linné, dessen Verschwinden eines Tages von dem Astronomen J. Schmidt im Jahre 1866 mitgeteilt worden ist. Dieser Krater war bis dahin als ein bemerkenswertes



Objekt im Mare Serenitatis beschrieben worden, man kannte ihn nach Tiefe und Weite, und plötzlich sollte er nur noch den Anblick eines weißlichen Fleckes bieten. Mehrere Astronomen, die auf die sensationelle Mitteilung hin ihr Fernrohr auf die fragliche Stelle gerichtet hatten, bestätigten die Entdeckung. Heute dagegen ist Linné als ein kleiner Krater von 900 m Durchmesser, von einem 30 m hohen Wall umgeben, katalogisiert. Ein anderer Fall, der ebenfalls sehr bekannt wurde, ist der des Doppelkraters Messier. Um das Jahr 1830 wurden die beiden Trichter, die ihn kennzeichnen, als Zwillingbildungen mit gleichen Ausmaßen und gleicher Gestalt beschrieben. Heute steht fest, daß ein einwandfreier Unterschied ihrer Tiefen besteht und daß der erste den Umriß eines Dreiecks, der zweite den einer Ellipse zeigt. Auch sonstige Anzeichen von Verlagerungen und Bewegungen glaubten manche Beobachter bemerkt zu haben : Am Grunde des Kraters Platon war dem vermeintlichen Augenschein zufolge vulkanische Tätigkeit festzustellen, die Färbung von Grimaldi ging zeitweise ins Grünliche, in Eratosthenes konnte man sogar Bewegungen wahrnehmen...

Heutzutage zeigen sich die meisten Astronomen solchen Veränderungen gegenüber sehr skeptisch. Es gibt kein ausreichend genaues Beweisstück aus früheren Beobachtungen, das, unbestechlich wie eine Photographie, Veränderungen zweifelsfrei nachweist. Alles, was man besitzt, besteht lediglich aus Zeichnungen und Beschreibungen, und denen gegenüber muß man leider vorsichtig sein. Bedenkt man, welch gänzlich verschiedenen Anblick eine Mondformation je nach der wechselnden Beleuchtungsart bietet, so ist man wahrscheinlich zu der Annahme berechtigt, daß die angeblichen Veränderungen auf dem Monde nichts anderes als optische Täuschungen sind. Solange nicht photographische Aufnahmen, von derselben Mondgegend bei gleicher Beleuchtung aufgenommen, unwiderlegbar eine Veränderung erwiesen haben, wird sich die Diskussion an dieser schwierigen Frage immer wieder entzünden.

Fast erübrigt sich der Hinweis, daß die Anhänger der plutonischen Mondtheorie besonders leicht geneigt sind, Veränderungen auf der Mondoberfläche anzunehmen ; sind doch solche Erscheinungen alles in allem die immer wiederkehrenden und ganz natürlichen Hinweise auf den Vulkanismus, von dem deren Vorstellungen ihren Ausgang nehmen.

Dieselbe Richtung unter den Astronomen setzt die Untersuchungen im Sinne der vulkanischen Theorie fort, und erst kürzlich haben einige von ihnen neuartige Erklärungen über Explosionen an der Mondoberfläche, durch die Mondkrater entstanden sein sollen, bekanntgemacht. Wenn man den Ansichten des Japaners S. Yamamoto folgt, so hat die fortschreitende Erkaltung des Mondes zu einem Austritt der kieselsauren Magma, die beim Erreichen der äußersten Mondkruste äußerst heftig explodiert ist, geführt. Die Erstarrung des Mondkörpers war wahrscheinlich auch dem Entstehen von großen Gasansammlungen, in denen sich die flüchtigen Bestandteile zusammenschlossen, günstig. Diese Gase sind durch die Mondoberfläche entwichen ; ihre Austrittsstellen sehen wir heute als Krater.

Photo 38. - Oceanus Procellarum. Auf dieser Aufnahme eines wichtigen Ausschnittes des Oceanus Procellarum erkennt man leicht die sehr langen Runzeln.

(Photo Observatorium Pic du Midi. Mondalter 9,60 Tage.)

# XIV Die Atmosphäre des Mondes

Wie man auch immer den Mond betrachtet, sei es mit bloßem Auge, sei es mit Fernglas oder gar Fernrohr, immer ist man aufs lebhafteste beeindruckt, mit welcher geradezu gestochenen Schärfe sich alle Einzelheiten abzeichnen. Dieser einzigartige Anblick darf nicht zu einer zwar verständlichen, aber dennoch irigen Ansicht darüber führen, welchen Anblick unsere Erde vom Monde aus bietet. Man darf sich nicht vorstellen, daß die Astronauten nach ihrer Landung auf dem Monde die Erde genauso sehen und ebenfalls alle Umrisse der Länder und Meere,

wie sie von den Landkarten her bekannt sind, wiederfinden. Sie werden nur eine Scheibe sehen, die zwar offensichtlich viel größer und heller als der Mond ist, im großen und ganzen aber leider nur recht flau aussieht. Unsere Erde ist eben von einer atmosphärischen Schicht eingehüllt, die voll ist von Nebel und Wolken und die den größten Teil des Erbodens verbirgt. Das gleiche gilt auch für unseren Nachbarplaneten Venus, von dem noch nie ein Astronom auch nur die geringste Einzelheit der Oberfläche erblicken konnte (Photos 39, 40 und 41).

## Atmosphäre und Schwerkraft

Der Mond hat keine Atmosphäre; diesem Sachverhalt muß aber sofort hinzugefügt werden, daß er nicht durch Zufall herbeigeführt ist. Vielmehr ist er die notwendige Folge eines physikalischen Gesetzes. Bekanntlich besteht die Luft aus einer nicht faßbaren Anzahl von Gasmolekülen, die nach allen Richtungen hin- und hereilen und dabei, je nach ihrer Größe und Temperatur, mit recht großen Geschwindigkeiten aneinanderstoßen. Die Mehrzahl dieser Kleinkörper hat Geschwindigkeiten zwischen 200 und 600 m/s, ein geringerer Bruchteil erreicht das Doppelte, noch weniger das Dreifache davon, und nur in Ausnahmefällen werden z.B. 3500 m/s durchlaufen. Genau so wie ein Geschloß, das sich, senkrecht in die Höhe gefeuert, vermöge einer großen Anfangsgeschwindigkeit bis in große Höhen erhebt und endlich, von der Schwerkraft überwunden, zur Erde zurückfällt, so können auch die Luftmoleküle unglaubliche Höhen erreichen; immer kehren sie aber zur Erde wieder zurück. Theoretische Überlegungen besagen, daß ein Körper jedoch nicht von der Schwerkraft überwunden wird, sofern er nur mit einer genügend großen Geschwindigkeit auf seine Reise geschickt worden ist. In einem solchen Falle fällt ein Geschloß nicht zurück, sondern entfernt sich auf Nimmerwiedersehen von der Erde. Am Erdboden beläuft sich diese kritische Geschwindigkeit auf 11 200 m/s, ein Wert, der viel höher liegt als derjenige der Molekülgeschwindigkeiten in unserer Erdatmosphäre. Das erklärt, warum unsere Erde ihre Atmosphäre immer beisammenhält.

Auf dem Monde dagegen ist die Situation gänzlich anders. Dort ist die Schwerkraft sechsmal kleiner als auf der Erde, und deshalb ist auch die Geschwindigkeit, die ein Entweichen vom Monde sicherstellt, viel kleiner. Sie liegt bei 2400 m/s und somit immer noch höher als die Geschwindigkeit, welche die Mehrzahl unserer Luftmoleküle annimmt. Eine geringe Minderheit ist in der Lage, diese Grenze zu überschreiten und sich davonzumachen. Jetzt

tritt sogleich etwas anderes in Erscheinung; es wird nämlich ein Gesetz über die Bewegungsenergie der Gase und über die Verteilung der verschiedenen Geschwindigkeiten auf die einzelnen Moleküle wirksam. Sind die schnellsten der Moleküle aus dem Gase verschwunden, so wächst die Geschwindigkeit anderer an und erreicht sogar den kritischen Wert. Das Flüchten einer kleinen Anzahl geht weiter; es dauert allerdings eine sehr lange Zeit, bis alle verschwunden sind. Wendet man diesen Tatbestand auf den Mond an, so läßt sich verständlich machen, daß er so gut wie nie eine Atmosphäre besessen hat. Zwar kommt man zu dem Ergebnis, daß das Verschwinden der gesamten Mondatmosphäre mehrere Millionen Jahre beansprucht hat, was aber nur eine Episode im Dasein unseres Mondes ist, wenn man ihm ein Alter von Milliarden von Jahren zuspricht. Mit Recht darf man sagen, daß der gegenwärtige Zustand bereits einige Millionen von Jahrhunderten andauert.

Die Beobachtungsergebnisse bestätigen in allen Punkten diese theoretischen Überlegungen. Hier ist vor allem die uneingeschränkte Schärfe zu nennen, mit der sich der Mondrand zeigt, wenn er im Verlaufe einer Finsternis vor der Sonne vorbeizieht. Findet eine Stern- oder Planetenbedeckung durch den Mond statt, so bemerkt man weder eine Lichtschwächung noch eine Strahlenbrechung; hätte der Mond eine nennenswerte Atmosphäre, so würde ein Stern nicht ganz plötzlich, sondern nur allmählich zum Verschwinden kommen, und außerdem würde er dank der Strahlenbrechung eine zwar geringe, aber doch feststellbare, scheinbare Ortsverschiebung am Himmel erfahren. Auch würde eine Atmosphäre Anlaß zu gewissen Dämmerungserscheinungen geben und die Schattengrenze längs des Terminators würde sich nicht scharf abzeichnen, sondern zu den Spitzen der Mondsichel hin undeutlicher werden.

## Spuren einer Mondatmosphäre

Ein völlig leerer Raum existiert überhaupt nicht. Auch vom interplanetaren und vom interstellaren Raum weiß man heute, daß er von äußerst fein verteilter Materie erfüllt wird. Die Frage ist, wie hoch der Verdünnungsgrad ist. Das Problem einer Mondatmosphäre beunruhigt ebenfalls die Wissenschaft. Wenn es auch feststeht, daß der Mond eine Atmosphäre, so wie wir sie auf der Erde kennen, nicht

besitzt, so ist es doch wohl wahrscheinlich, daß der ihn umgebende Raum ebenso von fein verteilter Materie erfüllt ist wie jeder andere in unserem Sternsystem. Was soll außerdem mit den mehr oder weniger großen Gasmassen geschehen, die allem Anschein nach aus den tieferen Schichten des Mondes entweichen? Bleiben die Moleküle größeren Molekulargewichts und deshalb gerin-

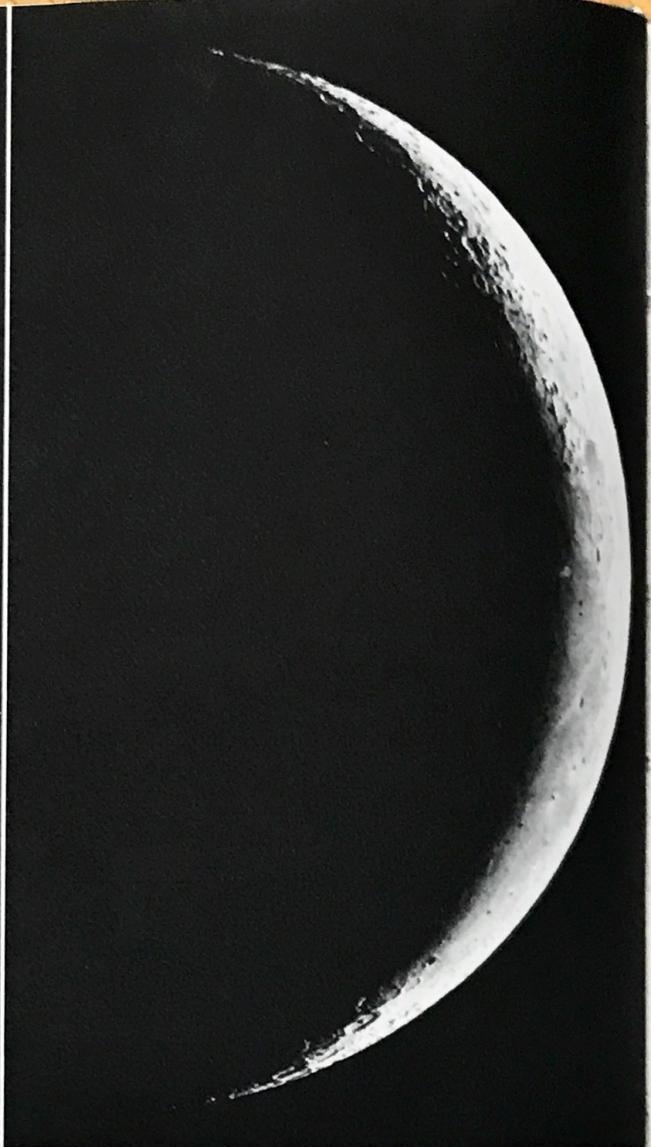


Photo 39 und 40. - Das erste Viertel und das letzte Viertel. Auf beiden Aufnahmen zeigt sich der Mondrand in voller Schärfe; ebenfalls scharf sind auch die Mondformationen in der Nähe des Ostrand. Das ist auf das Fehlen einer Atmosphäre zurückzuführen. (Photo Sternwarte Paris.)

gerer Geschwindigkeit dicht über dem Mondboden? Wie groß mag die Dichte und die Dicke dieser äußerst verdünnten Gasschicht sein, die trotz allem unseren Mond umgeben muß? Das sind Fragen, die heute noch manche Astrophysiker zu beantworten versuchen.

Unter den verschiedenen Beobachtungsmethoden, die daraufhin angewendet wurden, war auch eine, die sich die oben erwähnten, vermuteten Dämmerungserscheinungen zunutze machen wollte. Im Jahre 1926 haben die Astronomen Russell, Dugan und Stewart dargelegt, daß selbst eine Luftschicht, die nur 100 000mal weniger dicht ist wie die von uns eingeatmete, einen ganz leichten Dämmerungschein in der Verlängerung der Mondsichelspitzen vor dem dunklen Nachthimmel hervorbringen kann. Sie konnten aber bei ihren Messungen nicht die geringste Spur eines solchen Lichtscheines bemerken. Deshalb haben sie mit gutem Recht die soeben genannte Zahl als höchstmöglichen Wert der Dichte angegeben. Im Jahre 1948

wiederholten B. Lyot und A. Dollfus die gleichen Beobachtungen, und zwar unter wesentlich günstigeren Umständen. Die Entdeckung eines schwachen Dämmerungscheines kann nämlich durch ein störendes, sagen wir parasitäres Licht, das die Schwärze des Himmelsuntergrundes herabmindert und so die Messungen verfälscht, sehr erschwert werden. Zwei Ursachen führen zu einer solchen nachteiligen Wirkung. Einmal sind die Verunreinigungen der Erdatmosphäre Anlaß zu einer Lichtstreuung im Gesichtsfeld des Fernrohrs, wodurch ein allgemeiner Lichtschleier entsteht; zum andern wird das Licht an den Rändern der Linsenfassungen und Blenden gestreut und gebeugt, was den Schleier noch verstärkt. Um sich den Verunreinigungen der Erdatmosphäre zu entziehen, arbeiteten die beiden Forscher auf dem 3000 m hohen Pic du Midi in Südfrankreich, in der klaren Luft des höchstgelegenen Observatoriums der Erde. Um aber auch die vom Instrument herrührenden Nachteile zu umgehen, verwen-