ENGE-W 70-0719

NATURWISSENSCHAFTLICHE RUNDSCHAU
Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft m. b. H., Stuttgart N, Birkenwaldstraße 44, Postfach 40
Sonderdruck aus Band 23, Heft 10, Oktober 1970, Seite 391 bis 401

Bildung und Umbildung der Gesteine des Mondes
Nach Ergebnissen der Apollo-Missionen 11 und 12

Von Prof. Dr. WOLF VON ENGELHARDT, Tübingen

Mit der Landung von Raumschiffen auf dem Mond hat eine neue Epoche der Mondforschung begonnen. Bis zu diesem Zeitpunkt war der Mond ein Objekt der Astronomie, das heißt es standen nur Beobachtungen zur Verfügung, die mittels terrestrischer Teleskope, in neuerer Zeit auch mit Instrumenten der den Mond umkreisenden Satelliten aus der Entfernung gewonnen wurden. Zwar war es möglich, aus solchen Beobachtungen hervorragende topographische Karten der Mondoberfläche herzustellen, die so genau sind, daß die Morphologie der der Erde zugekehrten Seite des Mondes heute besser bekannt ist als die Gestalt mancher Teile der Erdoberfläche, doch blieb den Forschern der Vor-Apollo-Zeit eine wichtige Quelle der Information verschlossen: Sie wußten nichts Sicheres über den chemischen Stoffbestand des Mondes und nichts über die Gesteine und Mineralien, welche den Mondkörper aufbauen. So befanden sie sich in der Lage eines Geologen, von dem verlangt wird, allein aus Luftbildern die Struktur und Entstehung der festen Erdrinde abzuleiten.

Man versuchte, die Oberflächenformen des Mondes durch Vergleiche mit Formen der Erdoberfläche zu deuten, ein schwieriges Unterfangen, da von vornherein feststand, daß irdische und lunare Landschaftsformen unter recht verschiedenen Bedingungen entstanden. Vorstellungen über die chemische und gesteinsmäßige Zusammensetzung des Mondes versuchte man aus Theorien über die Entstehung des Planetensystems, aus der Häufigkeit der chemischen Elemente in der Sonnenatmosphäre, aus der nach astronomischen Beobachtungen berechneten Dichte des Mondes und aus der Zusammensetzung der Meteorite abzuleiten, den einzigen bisher bekannten extraterrestrischen Körpern.

So bewegten sich bisherige Theorien über die Beschaffenheit, Entstehung und Geschichte des Mondes in einem breiten Spielraum mehr oder minder großer Wahrscheinlichkeiten, der nun dadurch eingeschränkt wird, daß die bei den Missionen Apollo 11 und 12 an der Mondoberfläche gesammelten Proben einer direkten Untersuchung im Laboratorium zugänglich geworden sind. Damit ist der Mond, der bisher immer ferne Himmelskörper, in die unmittelbare Nähe des Menschen gerückt. Neben Astronomie und Astrophysik können sich jetzt alle Wissenschaften an der Erforschung des Erdtrabanten beteiligen, die bisher der Erkundung des Erdkörpers dienten.

Im folgenden soll über die wichtigsten neuen Fakten berichtet werden, welche durch die Anwendung chemischer, physikalischer und mineralogischer Methoden über die Beschaffenheit der Mondoberfläche an den Landestellen von Apollo 11 und 12 gewonnen wurden. Natürlich kann man nicht erwarten, daß aus diesen punktuellen Probenahmen schon alles erfahren werden kann, was man für eine vollständige Theorie des Mondes und seiner Entstehung braucht. Viele Fragen bleiben offen oder werden jetzt erst neu gestellt. Manches Grundsätzliche hat sich aber geklärt, viele Spekulationen haben ihren Boden verloren und Streitigkeiten, die bis vor kurzem die Mondforscher noch bewegten, haben ihren Sinn verloren.

Die Mondoberfläche an den Landestellen von Apollo 11 (Mare Tranquillitatis) und 12 (Oceanus Procellarum)

Die Abbildung 1 zeigt die Ansicht der uns zugewandten Seite des Mondes nach teleskopischen Aufnahmen. Die Gliederung der Mondoberfläche, wie sie schon mit bloßem Auge auf der Scheibe des Vollmondes erkennbar ist, tritt deutlich hervor: Hell, das heißt das Sonnenlicht stärker reflektierend erscheinen die Hochländer oder Terrae (Einzahl: Terra), dunkel sind die sogenannten Meere oder Maria (Einzahl: Mare). Die Hochländer haben ein unruhiges, gebirgiges Relief, das vor allem durch zahlreiche sich vielfach überschneidende Ringstrukturen verschiedenster Größe, die sogenannten Krater, geformt ist. Die Maria sind Senken mit einer verhältnismäßig glatten Oberfläche und sehr viel weniger Kratern. Die Höhenunterschiede zwischen Mare-Oberfläche und angrenzenden Terra-Gebirgen sind beträchtlich, stellenweise werden Höhendifferenzen bis zu 5000 m erreicht, im allgemeinen sind die Maria 1000 bis 2000 m tiefer als die Hochländer. Die verschiedene Helligkeit von Hochländern und Meeren zeigt, daß die Mondoberfläche in diesen beiden Gebieten aus verschiedenem Material besteht. Beobachtungen aus der Ferne und Messungen der optischen Eigenschaften der Mondoberfläche führten jedoch zu keinem sicheren Urteil, über die Natur der Mare- und Terra-Gebiete. So hat man zum Beispiel ange-

Prof. Dr. W. v. ENGELHARDT (geb. 9. Februar 1910) ist Direktor des Mineralogisch-Petrographischen Instituts der Universität Tübingen.

DEC 8 1970

Abb. 1. Teleskopische Ansicht des vollen Mondes. Dunkel erscheinen die tieferliegenden Maria oder „Meere", hell die Hochländer oder Terra-Gebiete mit zahlreichen Kratern. Von mehreren großen Kratern gehen Strahlsysteme aus, die sich über weite Bereiche der Mondoberfläche verbreiten, so vor allem vom Krater Tycho in der Nähe des Südpols (NASA-Aufnahme). — + : Landestelle von Apollo 11 im Meer der Ruhe (Mare Tranquillitatis). — × : Landestelle von Apollo 12 im Meer der Stürme (Mare Procellarum).

nommen, daß die hellen Terra-Gebiete von einer Schicht feinsten Staubes bedeckt sind, während zerrissene Lavaströme den Boden der Maria bilden sollen. Nach einer anderen Hypothese sollen in den Hochländern helle, das heißt kieselsäurereichere, in den Maria dunkle, das heißt kieselsäureärmere und eisenreichere Gesteine vorliegen.

Die Landung von Apollo 11 im Süden des Mare Tranquillitatis brachte die erste direkte Kunde von der Beschaffenheit einer Mare-Oberfläche. Der Flugkörper landete auf einer weiten Ebene ohne größere Erhebungen, die von zahllosen Kratern mit Durchmessern zwischen 2 cm und mehreren hundert Metern bedeckt ist. An der Landestelle ist der Mondboden (Regolith) eine lockere Trümmermasse, die aus Bestandteilen der verschiedensten Größe, von feinsten Staubteilchen bis zu mehrere Meter großen Blöcken besteht. Größere Krater, so zum Beispiel ein etwa 400 m von der Landestelle entfernter mit 180 m Durchmesser, sind von Randwällen aus großen Gesteinsblöcken umgeben, die offenbar aus dem tieferen Untergrund gefördert wurden. Aus der Tiefe der Krater mit Blockwällen kann man schließen, daß der lockere Mondboden an der Landestelle von Apollo 11 etwa 3 bis 6 m dick ist und auf festem Felsuntergrund liegt.

Auch Apollo 12 landete in einem Mare-Gebiet im Südteil des Oceanus Procellarum. Die auch hier von einer lockeren Trümmermasse gebildete Oberfläche ist weniger eben als im Mare Tranquillitatis. Mehrere große Krater mit Durchmessern zwischen 50 und 400 m liegen um die Landestelle. Die Randwälle der größten Krater sind mit großen Gesteinsbrocken bedeckt. Der lockere Mondboden ist an der Landestelle von Apollo 12 wesentlich weniger dick als im Mare Tranquillitatis.

Das Material, welches die Astronauten im Meer der Ruhe (Mare Tranquillitatis) und im Meer der Stürme (Oceanus Procellarum) sammelten, besteht aus einzelnen, an der Oberfläche ausgelesenen größeren Gesteinsstücken und aus Proben des gesamten Mondbodens. Bei Apollo 11 wurden 7,5 kg Gesteinsstücke über 1 cm Durchmesser und 12,5 kg feineres Material, bei Apollo 12 18 kg Gesteinsstücke und etwa 6,7 kg feines Material gewonnen. Der hohe Anteil größerer Gesteinsstücke an diesen Aufsammlungen darf nicht darüber hinwegtäuschen, daß der Anteil grober Steine an der Gesamtmasse des Regolith nicht groß ist. Korngrößenanalysen ergaben als gewichtsmäßig häufigste Korngröße des Regolith vom Mare Tranquillitatis Teilchen mit Durchmessern um 0,05 mm.

Der Regolith der Mareoberflächen entspricht den Böden und Sedimentgesteinen der Erdoberfläche, insofern auch er durch die Zertrümmerung und Umwandlung primärer fester Gesteine entstanden ist. Die Schuttmassen der Mareoberflächen bilden also ein lunares Sediment. Wie bei irdischen Trümmergesteinen sollte man durch die Untersuchung seiner Bestandteile erstens etwas über die Entstehung der primären Gesteine erfahren, von denen man annehmen kann, daß sie den Körper des Mondes aufbauen. Zweitens sollten sich auch Hinweise auf die Vorgänge bieten, die die Zertrümmerung und Umbildung des primären Materials bewirkt und den Transport und die Ablagerung der entstandenen Massen besorgt haben. Auf der Erde zerfallen und verwittern die primären Gesteine unter dem Einfluß von Wasser und Atmosphäre. Die Verwitterungsprodukte werden durch Winde und strömendes Wasser transportiert und abgelagert. Auf dem Mond, welchem Wasser und Lufthülle fehlen, haben bei der Bildung und Ablagerung des Regolith andere Kräfte gewirkt.

Magmatische Gesteine im Mondboden: Basalte und Anorthosite

Drei verschiedene Gesteinstypen kommen als größere Stücke und kleinere Fragmente im Mondboden des Mare Tranquillitatis und des Oceanus Procellarum vor: In Analogie zu irdischen Gesteinen nennt man sie lunare Basalte, Anorthosite und Breccien.

Die lunaren Basalte sind hell- bis dunkelgraue Gesteine, die aus den Hauptmineralien Plagioklas,