

Pyroxen und Ilmenit bestehen. Die Abbildung 2 zeigt das mikroskopische Dünnschliffbild eines grobkörnigen basaltischen Gesteins. Die hellen, leistenförmigen Kristalle sind calciumreiche Plagioklase, das heißt Glieder der Mischungsreihe zwischen Natriumfeldspat oder Albit ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ) und Calciumfeldspat oder Anorthit ( $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ ) mit 60 bis 100% Anorthit. Die Pyroxene sind makroskopisch braun durchsichtig und erscheinen im Mikroskop in bräunlichen bis rosabräunlichen Farbtönen. Es sind Mischungen von Calcium-, Magnesium- und Eisenmetasilikat,  $(\text{Ca, Mg, Fe})\text{SiO}_3$ . Als ein in irdischen Gesteinen nicht bekanntes Mineral kommt in den Mondbasalten der Calcium-Eisenpyroxen Pyroxferroit,  $(\text{Ca, Fe})\text{SiO}_3$  vor. Zwischen Plagioklas und Pyroxen liegen undurchsichtige, makroskopisch schwarze, metallisch glänzende Tafeln des Eisentitanerzes Ilmenit ( $\text{FeTiO}_3$ ), die im mikroskopischen Schnitt meist als lange Leisten erscheinen. Neben diesen Hauptbestandteilen enthalten die Mondbasalte andere Mineralien in geringerer Menge, so vor allem Olivin, Mischungen der Orthosilikate von Eisen und Magnesium,  $(\text{Fe, Mg})_2\text{SiO}_4$ , die  $\text{SiO}_2$ -Mineralien Cristobalit und Tridymit, metallisches Eisen, Eisensulfid oder Troilit ( $\text{FeS}$ ), Spinell ( $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ ) und einige andere seltene Bestandteile. Nur in sehr geringer Menge wurden einige bisher unbekannte Mineralien gefunden, so Ferropseudobrookit und ein Eisen-Titan-spinell.

Das Gefüge der Mondbasalte zeigt, daß diese Gesteine magmatischer Natur sind, das heißt wie terrestrische Basalte durch Kristallisation aus einer Schmelze, einem Magma entstanden. Die verschiedenen Varietäten der lunaren Basalte haben ihren Ursprung in unterschiedlichen Magmazusammensetzungen, die zu verschiedenen Mengenverhältnissen der Hauptmineralien Plagioklas, Pyroxen und Ilmenit führten. Feinkörnige Basalte sind oft besonders ilmenitreich. Während die basaltischen Gesteine von Apollo 11 verhältnismäßig einheitlich sind, fand sich unter den Gesteinen von Apollo 12 eine größere Variabilität des Mengenverhältnisses der Mineralien. Diese Gesteine stammen aus recht verschieden zusammengesetzten Magmen. Neben den olivinarmen und olivinfreien Basalten, wie sie im Mare Tranquillitatis vorwiegen, kommen in den Proben von Apollo 12 Peridotite mit 40% Olivin, 25% Pyroxen und 10% Plagioklas, olivinreiche Basalte mit 40% Olivin, 25% Pyroxen, 25% Plagioklas und 10% Ilmenit und sogar ein helles Gestein mit Quarz (oder einer anderen Modifikation von  $\text{SiO}_2$ ) und Kalifeldspat vor.

Das Gefüge der lunaren Basalte, vor allem die Korngröße ihrer Gemengteile bildet die Bedingungen der Abkühlung und Kristallisation ab. Die grobkörnigen Arten erstarren langsam in größerer Tiefe. Sie entsprechen daher fast schon terrestrischen Tiefengesteinen basaltischer Zusammensetzung und könnten Gabbros genannt werden. Feinkörnige Varietäten entstanden bei schnellerer Abkühlung nahe oder an der Mondoberfläche. Wie terrestrische basaltische

Laven enthalten sie rundliche Blasen Hohlräume, die durch das Entweichen flüchtiger Bestandteile, vielleicht Wasser oder Kohlendioxyd, entstanden. Die für die feinkörnigen Mondbasalte typischen Blasen sind übrigens der einzige Hinweis darauf, daß das Mondmagma leichtflüchtige Bestandteile enthielt. Im Unterschied zu terrestrischen Gesteinen kommen in den Mondgesteinen keine Mineralien vor, die Wasser oder andere flüchtige Bestandteile enthalten, wie zum Beispiel die in irdischen magmatischen Gesteinen sehr verbreiteten Glimmer oder Hornblenden.

Sehr viel seltener und nur als kleinere Fragmente von höchstens cm-Größe kommen im Boden des Mare Tranquillitatis und des Oceanus Procellarum weiße Gesteine vor, die man in Analogie zu irdischen Gesteinen Anorthosite nennt. Sie bestehen hauptsächlich aus calciumreichem Plagioklas, dem kleine Kriställchen von Olivin oder auch Pyroxen eingelagert sind (Abb. 3). Sie enthalten weniger Eisen und Titan aber mehr Kieselsäure und Aluminium als die Basalte (Tabelle 1).

Auch die lunaren Anorthosite sind aus der Kristallisation eines Magmas entstanden. Ihr inneres Gefüge ist aber anders als das der Basalte. Während die letzteren aus ineinander verzahnten Kristallen von Plagioklas, Pyroxen und Ilmenit bestehen, die durch die vollständige Kristallisation einer Schmelze entstanden, sind die meisten Anorthosite ein Haufwerk einzelner verschieden großer Plagioklaskristalle, in deren Zwischenräumen kleine Olivinkristalle, seltener auch Pyroxenkörner eingelagert sind. Derartige Gesteinsgefüge, wie sie auch in irdischen Anorthositen vorkommen, entstehen durch eine Anhäufung der zuerst aus einem Magma auskristallisierenden Plagioklaskristalle, aus welcher eine eisenreiche Restschmelze ausgepreßt wurde.

Da die Anorthositfragmente in den Trümmermassen der Maria sehr viel kleiner sind als die der basaltischen Gesteine, ist es wahrscheinlich, daß sie von weiter entfernten Orten der Mondoberfläche stammen. Man vermutet, daß sie von den Hochländern herkommen. Hierfür sprechen die Ergebnisse

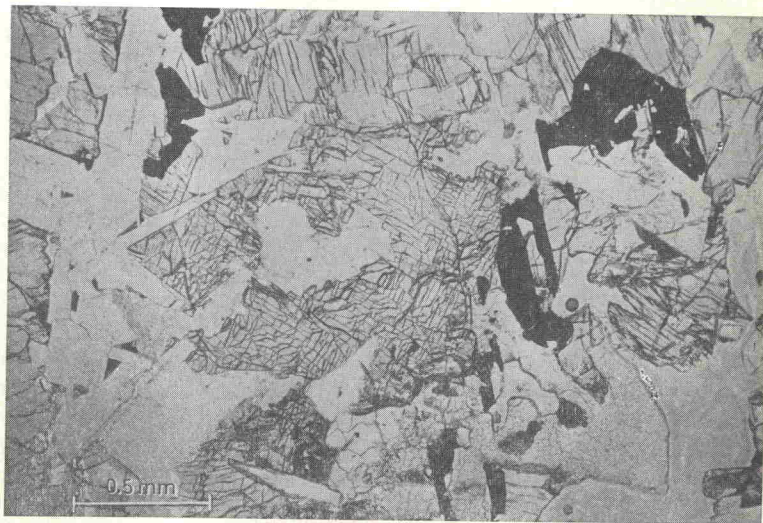


Abb. 2. Grobkörniger Mond-Basalt, mikroskopisches Dünnschliffbild. Farbloser Plagioklas, oft leistenförmig. Bräunlicher Pyroxen mit Spaltrissen. Undurchsichtiger Ilmenit. Cristobalit, farblos mit schuppiger Struktur nahe der rechten unteren Bildecke.

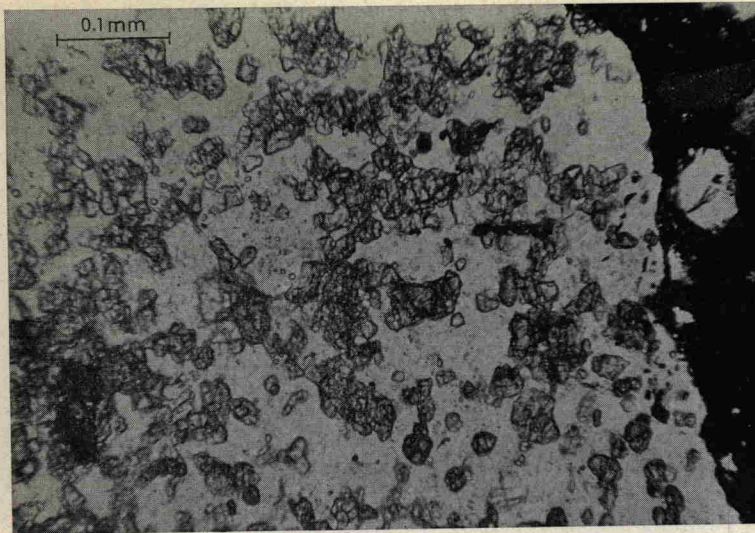


Abb. 3. Mond-Anorthosit, mikroskopisches Dünnschliffbild. Farbloser Plagioklas mit grünlichen Olivinkörnern.

chemischer Analysen der Surveyormissionen von verschiedenen Stellen der Mondoberfläche. Die durch Streuung von  $\alpha$ -Strahlen ermittelte mittlere chemische Zusammensetzung der Mondoberfläche im Mare Tranquillitatis (Surveyor 5) entspricht nämlich recht gut der mittleren Zusammensetzung der basaltischen Gesteine von Apollo 11, während Surveyor 7 im Hochlandgebiet nördlich des Kraters Tycho eine Zusammensetzung mit weniger Eisen und Titan und dafür mehr Aluminium feststellte, wie sie der der Anorthosite ähnlich ist. Sollte es sich bei weiteren Apollomissionen bestätigen, daß in den Hochländern helle anorthositische Gesteine, in den Meeresgebieten dunkle Basalte überwiegen, so wäre dadurch der Helligkeitsunterschied von Maria und Terrae erklärt.

Die Existenz echter magmatischer Gesteine in den Trümmern der Maria beweist, daß es im Mond flüssige Magmen gegeben hat, die in vulkanischen Prozessen bis an die Oberfläche empordrangen (feinkörnige Basalte) oder auch in einer gewissen Tiefe erstarrten. Die Beschaffenheit der magmatischen Gesteine und die Variabilität ihrer Zusammensetzung zeigt, daß die Magmen bestimmte Entwicklungen oder Differentiationen durchmachten, die zur Bildung der einzelnen Gesteinstypen führten. Schon die normalen basaltischen Gesteine aus Plagioklas, Pyroxen und Ilmenit müssen Endprodukte einer Magmendifferenzierung sein, die aus einem Ursprungsmagma dadurch hervorgingen, daß erste Kristallite abgetrennt wurden und wahrscheinlich in die Tiefe absanken. Dies kann unter anderem daraus geschlossen werden, daß die lunaren Basalte die Hauptminerale in einem solchen Mischungsverhältnis enthalten, daß die Gesteine in einem relativ engen Temperaturintervall schmelzen, respektive kristallisieren. Dies ist eine typische Eigenschaft jeder nach längerer Entwicklung eines langsam kristallisierenden Magmas übrigbleibenden Restschmelze. Die in den Apollo-12-Proben vorkommenden Peridotite, die nur aus Olivin und Pyroxen bestehen, sind wahrscheinlich Frühkristallite, die bei der Kristallisationsdifferentiation lunarer Magmen zuerst entstanden. Auch die Anorthosite sind Produkte einer Kristallisations-

differentiation. In diesem Fall haben sich aus einem Ursprungsmagma zuerst Kristalle von Plagioklas und Olivin gebildet, die als Kristallbrei auf der eisenreichen und daher schwereren Restschmelze schwammen. Manche Forscher vermuten, daß sich auf der Oberfläche des in einem frühen Stadium vollständig geschmolzenen Mondes eine mehr oder weniger geschlossene Kruste von Anorthosit gebildet hat, die auf einer eisenreicheren Unterlage etwa basaltischer Zusammensetzung in isostatischem Gleichgewicht schwimmt. Die basaltische Unterlage kommt nach dieser Vorstellung dort zu Tage, wo Einschläge sehr großer Meteoriten die Anorthositkruste zerstört und die Mare-Ebenen erzeugt haben. Die Hochländer wären dann die Reste einer ursprünglichen Anorthositkruste.

Dem Vorkommen vulkanischer Gesteine in den Trümmern der Maria entsprechen Formen der Mondoberfläche, die vulkanisch entstanden sind. Dazu gehören zum Beispiel beulenförmige Aufwölbungen in Mare-Gebieten, die sogenannten Dome, Strukturen, die wie Lavaströme aussehen und manche Rundformen (Krater), welche als vulkanische Einsturzbecken (Calderen) oder als Vulkankegel zu deuten sind.

Altersbestimmungen nach radiometrischen Methoden (Zerfall radioaktiver Atomarten) haben das überraschende Ergebnis gebracht, daß die basaltischen Gesteine von Apollo 11 und 12 vor 2,6 bis  $3,6 \cdot 10^9$  Jahren erstarrten. Wenn sich diese hohen Alter weiterhin bestätigen, so sind an und nahe der Mondoberfläche flüssige Magmen nur in einer sehr frühen Zeit aufgetreten (Alter der Erde und des Planetensystems:  $\approx 4,6 \cdot 10^9$  Jahre). Anders als auf der Erde, wo es Vulkanismus während der ganzen Spanne der geologischen Vergangenheit bis in die Gegenwart hinein gegeben hat und gibt, ist der Vulkanismus des Mondes wahrscheinlich schon seit geraumer Zeit erloschen.

#### Breccien und feine Bestandteile des Mondbodens

Neben den magmatisch entstandenen Basalten und Anorthositen kommen als größere Stücke im Boden beider Landstellen sogenannte Breccien vor. Die Breccien sind dunkelgraue, verhältnismäßig weiche Gesteine, die durch Verkittung des Mondbodens durch eine feinverteilte Glasgrundmasse entstanden sind (Abb. 4 und 9). Abgesehen von der glasigen Matrix sind die Bestandteile der Breccien dieselben wie die des Mondbodens. Beide Formationen sind als sekundäre Bildungen aus der Zertrümmerung und Umbildung der primären magmatischen Mineralien und Gesteine entstanden. Man kann die folgenden Komponenten der Breccien und des Mondbodens unterscheiden:

1. Bruchstücke kristalliner Gesteine (Basalte, Anorthosite).
2. Bruchstücke älterer Breccien.
3. Fragmente der Mineralien der kristallinen Gesteine. (in der Hauptsache Pyroxen, Plagioklas, Ilmenit).