

orthosite vorwiegend auf den Hochländern, Basalte dagegen vorwiegend in den Mare-Senken vorkommen, kann man weiter schließen, daß die hellen Gläser durch Meteoriteneinschläge auf dem Hochland entstanden und in die Trümmernmassen der Mare-Senken eingestreut wurden, während die dunkleren Gläser durch Einschläge im Maregebiet erzeugt wurden, das heißt wahrscheinlich mehr in der Nähe der Landestelle von Apollo 11 und 12.

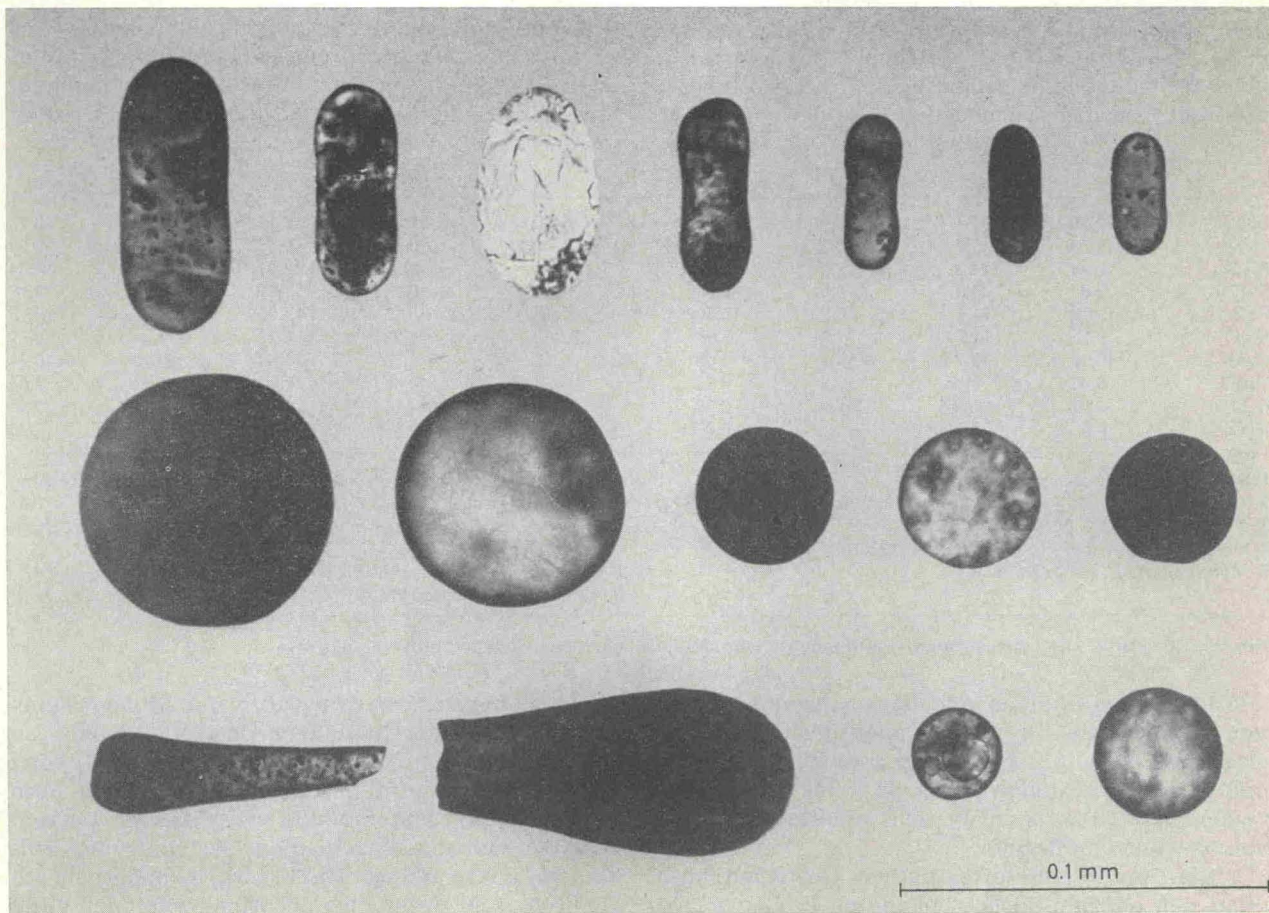
Daß Meteoriteneinschläge auf die Mondoberfläche gewirkt und ihre Beschaffenheit verändert haben, kann man auch unmittelbar auf der Oberfläche der Gesteins- und Glasfragmente beobachten. Viele Gesteinsstücke sind mit zahlreichen kleinen etwa halbkugeligen Löchern bedeckt, die von Glas überzogen und oft von einem weißen Hof pulverisierter Mineralien umgeben sind. Ähnliche kleine Krater kommen auch auf der Oberfläche von Glaskugeln vor, ihre Größe geht bis auf wenige Mikron und darunter herab. Die Krater auf Glas sind von radialen Rissen umgeben. Aus der Beschaffenheit dieser Mikrokrater kann man schließen, daß sie von den Einschlägen kleiner und sehr kleiner Meteoriten herrühren, die anders als auf der durch die Lufthülle geschützten Erde die Mondoberfläche mit denselben kosmischen Geschwindigkeiten erreichen können, wie die großen Meteoriten.

Auf vielen Gesteinsoberflächen finden sich unregelmäßige Spritzer oder Überzüge braunen, blasi-

gen Glases. Daß auch diese Glasüberzüge von Meteoriteneinschlägen stammen, geht daraus hervor, daß in ihnen Eisen-Nickelkugeln und Mineralfragmente mit Stoßwelleneffekten vorkommen. Außerdem ließ sich in einigen Fällen nachweisen, daß das Gestein unter dem Glasüberzug durch starke Stoßwellen verändert ist.

Stoßwellenbeanspruchte Mineralkörner und die verschiedenen Glaspartikel, die wahrscheinlich alle durch Stoßwellen hoher Energie erzeugt wurden, machen einen hohen Anteil des Mondbodens aus. Der Mondboden ist eine Trümmernmasse, die durch viele Einschläge von großen und kleinen Meteoriten oder Kometen erzeugt und weithin über die Mondoberfläche verteilt wurde. Viele, wahrscheinlich die meisten Ringstrukturen sind daher, wie man schon aus ihrer Gestalt geschlossen hat, nicht vulkanischen Ursprungs sondern durch den Einschlag extralunarer Körper erzeugt worden.

Auf welche Weise die verfestigten Breccien entstanden, ist noch nicht klar. Vielleicht handelt es sich um die Produkte von Einschlägen in den lockeren Mondboden, dessen feiner Anteil durch die Stoßwelle zu einer die gröberen Fragmente verkittenden Glasgrundmasse aufgeschmolzen wurde. Daß solche Vorgänge sich mehrfach wiederholten, erkennt man an älteren Breccienfragmenten, die in den Breccien eingeschlossen vorkommen.



**Abb. 11.** Längliche, kugelige und tränenförmige Glaskörper verschiedener Farbe aus dem Mondboden und den Breccien von Apollo 11. Die länglichen Körper der obersten Reihe enthalten z. T. Reste von Mineralkörnern und Glaspatrien verschiedener Farbe und Zusammensetzung. In der kleinen Kugel der unteren Reihe sind zwei Glaskugeln mit niedriger Lichtbrechung eingeschlossen.



Auch am feinen Anteil des Mondbodens wurden radiometrische Altersbestimmungen nach verschiedenen Methoden ausgeführt. Sie ergaben übereinstimmend ein Alter von  $4,65 \cdot 10^9$  Jahren. Der feine Anteil des Mondbodens erscheint also älter als die bisher untersuchten magmatischen Gesteine. Dieser Altersunterschied ist erklärlich, wenn man bedenkt, daß der Mondboden das Produkt eines langdauernden Bombardements der Mondoberfläche durch Meteoriten ist. In seinem feinen Anteil enthält er vorwiegend ältere, wiederholt zerkleinerte Gesteinskomponenten, während jüngere magmatische Gesteine weniger stark beansprucht wurden und daher noch als größere Steine erhalten sind.

### Chemische Zusammensetzung

Die Tabelle 2 gibt eine Übersicht über die chemische Zusammensetzung der Mondgesteine und des Mondbodens. Deutlich tritt der Unterschied zwischen den dunklen Basalten (Nr. 1, 2) und den hellen Anorthositen (Nr. 3) hervor, die wegen ihres höheren Feldspat- und geringeren Ilmenitgehaltes reicher an  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  und  $\text{CaO}$  und ärmer an  $\text{FeO}$  und  $\text{TiO}_2$  sind. Der feine Anteil des Mondbodens (Nr. 4, 5) ist chemisch im ganzen den Basalten ähnlich. Die höheren Gehalte an  $\text{SiO}_2$  und  $\text{Al}_2\text{O}_3$  kommen dadurch zustande, daß der Boden an den Landstellen von Apollo 11 und 12 aus der Zertrümmerung und Umwandlung von viel basaltischem Gestein und weniger Anorthosit entstanden ist. Bemerkenswert ist die Tatsache, daß Basalte und Anorthosite nur Spuren von Nickel enthalten, während in den Bodenproben 0,2% Nickel festgestellt wurden. Dies entspricht einer Beimengung weniger Prozente meteoritischer Substanz von der Zusammensetzung der Chondrite.

tativ entspricht ihr Mineralbestand dem der irdischen Basalte. Die auf der Erde häufigsten tholeitischen Basalte (Nr. 8), deren Magmen aus dem oberen Erdmantel stammen, enthalten jedoch stets dreiwertiges Eisen, chemisches gebundenes Wasser sowie mehr Alkalien und Kieselsäure und weniger  $\text{TiO}_2$  als die Mondbasalte. Unter den kieselsäureärmeren Alkaliolivinbasalten gibt es zwar einzelne Typen mit hohem Titangehalt (bis 7%). Doch enthalten gerade diese Gesteine besonders viel Alkalien, dreiwertiges Eisen und Wasser. Bemerkenswerte Unterschiede bestehen auch hinsichtlich verschiedener Spurenelemente. So enthalten die Mondbasalte rund 5 mal so viel Seltene Erden als die irdischen Basalte, mehr Barium, sehr viel geringere Mengen an den flüchtigen Elementen Silber, Cadmium, Zink, Indium, Thallium und Wismut sowie an den siderophilen Elementen Nickel, Kobalt, Iridium und Gold.

Die häufigsten Steinmeteorite, die Chondrite, bestehen im wesentlichen aus Olivin, Pyroxen und metallischem Eisen. Ihr silikatischer Anteil (Nr. 6) ist daher ärmer an Kieselsäure und Aluminium und reicher an Magnesium als die Mondgesteine.

Mineralogisch und chemisch den Mondbasalten am ähnlichsten sind die aus Pyroxen und Plagioklas bestehenden achondritischen Meteorite oder Eukrite (Nr. 7). Doch bestehen auch hier Unterschiede, so zum Beispiel hinsichtlich des Titangehaltes.

### Folgerungen

Ob der Mond bei der Bildung des Planetensystems als ein selbständiger Körper entstand oder ob er einmal von der Erde abgespalten wurde, kann man heute noch nicht mit Sicherheit sagen. Eines geht jedoch

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\text{SiO}_2$	40,69	40	46,0	42,25	42	39,88	48,17	50,83	45,78
$\text{TiO}_2$	10,78	3,7	0,3	7,24	3,1	0,15	0,51	2,03	2,63
$\text{Al}_2\text{O}_3$	9,49	11,2	27,3	13,83	14	2,31	13,91	14,07	14,64
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,17	2,88	3,16
$\text{FeO}$	19,16	21,3	6,2	15,80	17	13,12	15,99	9,00	8,73
$\text{MgO}$	7,55	11,7	7,9	7,97	12	24,98	7,10	6,34	9,39
$\text{CaO}$	10,97	10,7	14,1	11,96	10	1,90	10,94	10,42	10,74
$\text{Na}_2\text{O}$	0,46	0,45	0,3	0,43	0,40	0,88	0,67	2,23	2,63
$\text{K}_2\text{O}$	0,18	0,065	Spur	0,13	0,18	0,14	0,13	0,82	0,95
$\text{H}_2\text{O}$	0,0	0,0	...	0,0	0,0	0,37	0,44	0,91	0,76

1 Basalt, Apollo 11 (Mittel)

2 Mittel von 9 basaltischen Gesteinen von Apollo 12 (PET 1970)

3 Anorthosit, Apollo 11 (Wood, 1970)

4 Mondboden <1 mm, Apollo 11 (Wiik, 1970)

5 Mondboden <1 mm, Apollo 12

6 Chondrite (low iron — low metal group) Mittl. Zusammensetzung des silikat. Anteils

7 Mittel achondritischer Meteorite (Pyroxen-Plagioklas Achondrite)

8 Tholeitische Basalte (Mittel)

9 Alkaliolivin-Basalte (Mittel)

Tab. 2. Chemische Zusammensetzung von Mondgesteinen, Mondboden, Meteoriten und irdischen Basalten.

Allen Mondgesteinen gemeinsam ist das Fehlen von Wasser und  $\text{CO}_2$  und der niedrige Oxidationsgrad des Eisens, das nur in der zweiwertigen Stufe und in geringer Menge sogar als freies Metall vorkommt. Auffallend sind die sehr niedrigen Gehalte von Natrium und Kalium.

Weder unter den terrestrischen Gesteinen noch unter den einzigen bisher bekannten Proben extraterrestrischer Materie, die als Meteoriten auf die Erde fallen, gibt es Gesteine, deren chemische Zusammensetzung der der Mondgesteine gleicht. Quali-

aus dem hohen Erstarrungsalter der Mondgesteine hervor: Wenn der Mond von der Erde stammt, so muß die Trennung schon sehr bald nach der Bildung des Erdkörpers erfolgt sein. Dafür sprechen auch die chemischen Unterschiede zwischen den lunaren Basalten und den basaltischen Gesteinen der Erdkruste: Lunare und irdische Basalte müßten chemisch ähnlicher sein, wenn sich der Mond von einer Erde abgetrennt hätte, auf der schon eine Kruste basaltischer Gesteine bestand. Verglichen mit der mittleren Zusammensetzung der in der Sonnenatmosphäre