# Wissenschaftliche Ergebnisse der ersten Mondlandungen

Autor(en): **Geiss, Johannes**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft**

Band (Jahr): **29 (1971)**

Heft 122

PDF erstellt am: **29.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-899901

**Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

**Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

**http://www.e-periodica.ch**

# Wissenschaftliche Ergebnisse der ersten Mondlandungen

Bericht über den Vortrag von Prof. Dr. JOHANNES GEISS, Bern, gehalten an der Generalversammlung der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft in Solothurn am 6. Juni 1970

von HELMUT MÜLLER, Zürich

Zwei Mondlandungen sind bisher geglückt. Am 21. Juli 1969 betraten ARMSTRONG und ALDRIN von Apollo 11 als erste Menschen den Mond, ein historisches Ereignis, am 19. November des gleichen Jahres waren es CONRAD und BEAN von Apollo 12. Beim Flug von Apollo 13 im April 1970 mussten die Astronauten wegen eines Defektes zurückkehren, ohne die geplante Landung ausgeführt zu haben. Das war zweifellos ein Rückschlag für die wissenschaftliche Forschung auf dem Mond, aber wir hoffen auf weitere erfolgreiche Landungen in der Zukunft. Viele Resultate sind schon gewonnen worden, doch die ganze Auswertung ist noch im Fluss, so dass heute nur einige Ergebnisse davon gebracht werden sollen.

Die Landeplätze waren bei Apollo 11 das Meer der Ruhe, bei Apollo 12 der Ozean der Stürme, ausgedehnte Tiefebenen, letztere etwa von der Grösse des Mittelländischen Meeres, erstere erheblich kleiner, doch der Bereich, den die Astronauten wirklich durchquerten und untersuchten, ist damit verglichen winzig, ein Umkreis von 10 bzw. 100 Metern, und alle Gesteinsproben wurden in diesem sehr begrenzten Bezirk gesammelt, was man bei allen Resultaten nicht vergessen darf.

Die Astronauten hatten auf dem Mond verschiedene Aufgaben zu erfüllen. Zuerst mussten sie überhaupt lernen, sich in ihren Raumanzügen im Schwerefeld des Mondes, das nur ein Sechstel des Schwerefeldes der Erde ist, zu bewegen und zu betätigen. Der Druck im Raumanzug ist etwa ein Drittel Atmosphärendruck, aussen herrscht praktisch das Vakuum, dadurch sind die Anzüge sehr steif, jede Bewegung bedeutet eine Veränderung des Volumens und erfordert Arbeit. So kann sich der Astronaut z. B. nicht einfach bücken, wenn er etwas auflesen will, und hatte darum für diesen Zweck besondere Greifzangen. CONRAD gelang der ausgezeichnete Trick, sich auf die Knie herunterzulassen, Steine, die für die Greifzangen schon zu gross waren, einfach zu packen und sich dann mit einem kleinen Stoss wieder zum Stehen zu bringen, was dank der geringen Schwerkraft glückte.

Zu den weiteren Aufgaben der Astronauten gehörte es, die Gegend ganz allgemein zu inspizieren, wissenschaftliche Apparaturen aufzubauen und Gestein einzusammeln. Bei der Apollo-11-Landung war die Sonnenwindfolie aufzustellen und wieder mitzunehmen, ferner musste ein Seismometer und ein Laser-Reflektor installiert werden. Bei Apollo 12 stand mehr Zeit zur Verfügung, und so wurde auch mehr verlangt. Es war hier trefflich gelungen, die Landefähre 160 m vom unbemannten, 3 Jahre vorher durch Fernsteuerung hier aufgesetzten Surveyor 3 zu plazieren. Dieser Surveyor hatte mit einem Arm den Mondboden etwas aufgerissen und damit schon die ersten Aussagen über die Bodenbeschaffenheit geliefert. Zu ihm spazierten nun die Astronauten und brachten einiges von dort zurück, z. B. die Fernsehkamera und nach dem Vorschlag von Prof. GEISS ein Rohr aus reinem Aluminium, das dann in Bern untersucht wird, um darin die Wirkung des Sonnenwindes zu studieren. Es waren ferner auch mehrere andere Apparaturen aufzubauen, worüber gleich noch im einzelnen berichtet wird.

Zuvor soll aber kurz auf einen ganz wesentlichen Vorzug des Mondes aufmerksam gemacht werden, der bei den Apollo-Flügen noch wenig genutzt wurde, der später aber sicher einmal voll ausgeschöpft werden wird. Der Mond ist eine ideale Basis für ein Observatorium. Wegen des Fehlens einer Atmosphäre können im Gegensatz zu Beobachtungen von der Erdoberfläche aus, wo die Erdatmosphäre für eintreffende Strahlung nur kleine Fenster frei lässt, sämtliche elektromagnetischen Strahlen und die Korpuskularstrahlung völlig ungehindert empfangen werden, und fast genau so wichtig ist, dass auf dem Mond kein Magnetfeld nennenswerter Stärke vorhanden ist, durch das je nachdem ebenfalls die Informationen aus dem Weltraum erheblich beeinflusst und entstellt werden können.

Ein relativ einfaches Instrument, das schon von den Apollo-11-Astronauten auf dem Mond installiert wurde, ist ein Laser-Reflektor. Laser-Strahlen zeichnen sich dadurch aus, dass man sie sehr eng bündeln kann. Schickt man ein solches Laser-Bündel über ein Teleskop zum Mond, so wird der Lichtkegel dort im günstigsten Fall einen Durchmesser von nur 500–1000 Meter haben und trifft er nun den Laser-Reflektor, so wird davon der der Fläche des Reflektors von einigen $dm^2$ entsprechende Teil zum Teleskop zurückgesandt werden, da dieser Reflektor – er besteht aus diagonal abgeschnittenen Glaswürfeln – so konstruiert ist, dass er innerhalb gewisser Grenzen einen Lichtstrahl exakt zu seiner Quelle zurückwirft, unter welcher Richtung er auch immer aufgetroffen ist. Man kann diese Wirkungsweise rein geometrisch sehr leicht einsehen. Ausgesandt werden nun sehr kurze Lichtpulse von $10^{-9}$ Sekunden Dauer, deren Rückkehr dann nach geeigneter Verstärkung registriert wird. Misst man die Zeit, die zwischen Aussendung und Empfang vergangen ist, auf $10^{-9}$ s genau, was durchaus zu machen ist, so hat man die Strecke zwischen Teleskop und Reflektor mit einer Genauigkeit von etwa 15 cm, da das Licht in $10^{-9}$ Sekunden $3 \times 10^{10} \times 10^{-9}$ cm = 30 cm zurücklegt und man ja die Zeit zum Durchlaufen der doppelten Strecke ermittelt. Von einem Observatorium in Texas werden seit der Apollo-11-Landung solche Mes-

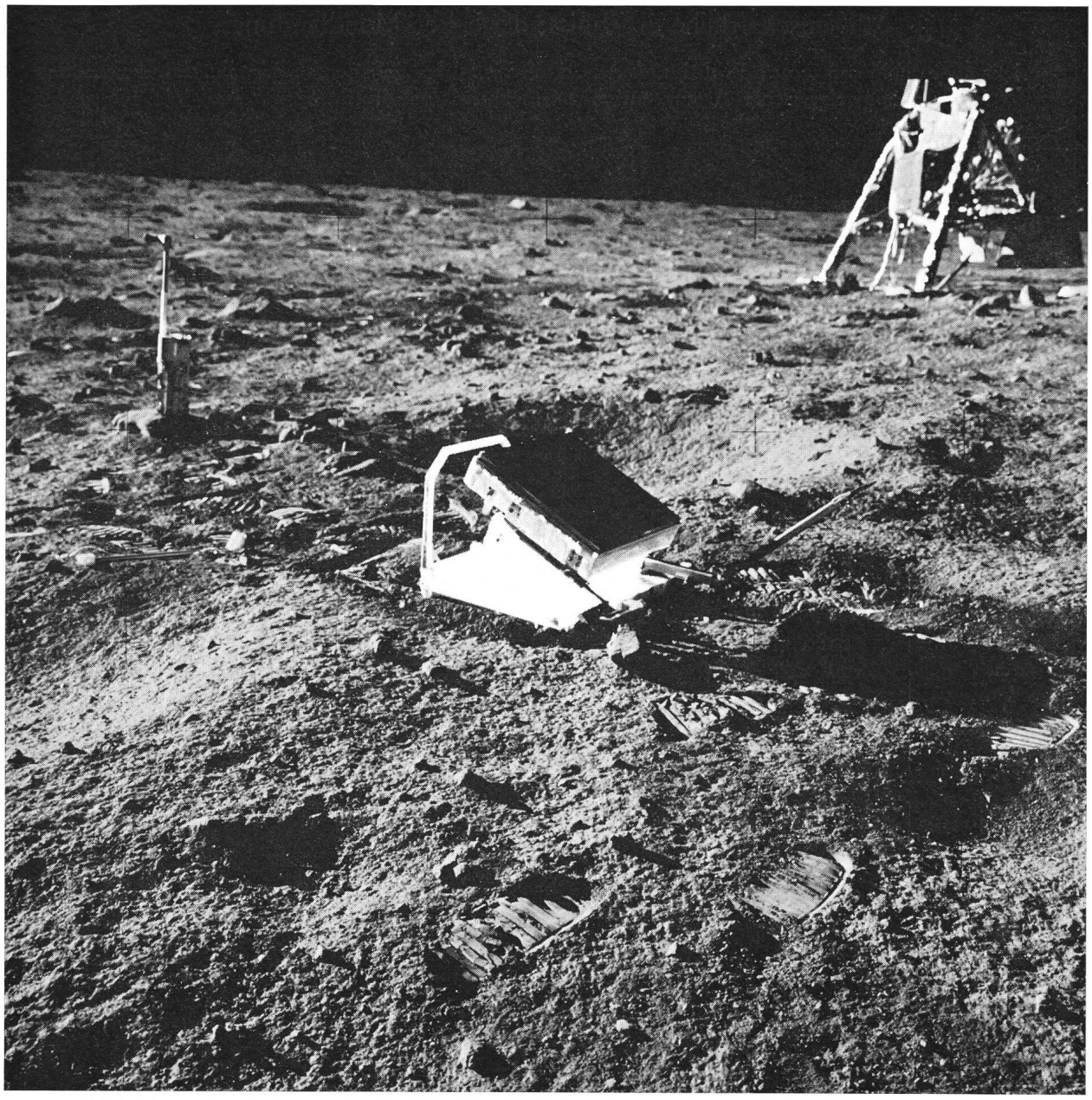

*Abb. 1:* Der am Landeplatz von Apollo 11 im Meer der Ruhe aufgestellte Laser-Reflektor (Aufnahme der NASA).

sungen laufend durchgeführt. Diese sehr genauen Distanzmessungen sind interessant und wichtig. Man kann auf diese Weise die recht komplizierte Theorie der Mondbewegung kontrollieren und verbessern und, wenn das geglückt ist, nun umgekehrt den Mond als stets exakt bekannten Fixpunkt benutzen und durch die eben beschriebenen Laser-Messungen von verschiedenen Orten der Erde aus anpeilen und die jeweiligen Distanzen messen. Auf dieser Weise erhält man rein trigonometrisch die Abstände all dieser Erdorte voneinander sehr genau, man betreibt also Erdvermessung, Geodäsie, über sehr weite Strecken und kann so z. B. auch die Kontinentverschiebung verifizieren. Eine verwandte Methode wird in der sogenannten Satellitengeodäsie angewendet. Auf einem erdnahen künstlichen Satelliten ist ein Reflektor installiert und man misst von verschiedenen Orten der Erde aus mittels der Laufzeit von Laser-Strahlen die Distanz zum Satelliten. An diesem Programm der NASA beteiligt sich eine Forschungsgruppe der Universität Bern unter der Leitung von Prof. M. Schürer und Prof. K. P. Meyer.

Der Laser-Reflektor ist ein passives Instrument, wie auch die Sonnenwind-Folie, sie brauchen keine Energiequellen. Bei den anderen Instrumenten, wie z. B. bei den Seismographen, ist das anders, die müssen registrieren und diese Daten selber zur Erde melden. Der von Apollo 11 aus installierte Seismograph fiel drum schon nach drei Wochen aus, seine Sonnenbatterie und die empfindliche Elektronik vertrugen die

Kälte der Mondnacht von —100 ° C und weniger nicht. Aus diesem Grunde hat man bei Apollo 12 als Energiequelle eine Nuklearbatterie gewählt. Eine radioaktive Substanz, hier ein Plutoniumisotop, zerfällt in der genau bekannten Weise und erzeugt dadurch Wärme, die in elektrische Energie umgewandelt wird. Das reicht für viele Jahre, um sämtliche Instrumente zu versorgen, die durch Kabel mit der Batterie und der zentralen Sendestation verbunden sind. Für diese ist es wiederum recht praktisch, dass die Antenne nur ein einziges Mal von den Astronauten auf die Erde gerichtet und dann nicht mehr nachgeführt werden muss. Der Mond wendet uns ja immer die gleiche Seite zu, so weist auch die Antenne immer zur Erde; die geringen, wohl bekannten Librationsbewegungen des Mondes von maximal 8 ° spielen bei dem relativ weiten Strahlungsbündel der Antenne keine Rolle.

Ein anderes Instrument, das von Apollo 12 auf den Mond gebracht wurde, ist ein Detektor für Ionen. Man hat auch einige Ionen festgestellt, vielleicht stammen sie aus dem Sonnenwind, vielleicht aus dem Mond selber, Spuren von Gasen, die durch die Sonnenstrahlung oder den Sonnenwind ionisiert wurden. Ein daran angeschlossenes kleines Gerät, das den Atmosphärendruck auf dem Mond messen sollte, funktionierte bald nicht mehr. So kann man danach nur sagen: Allerhöchstens herrscht auf dem Mond ein Druck von $10^{-9}$ Torr, und das hatten auch schon Sternbedeckungen und Polarisationsmessungen verraten. Man muss beachten, dass diese Druckmessungen auf dem Mond zuerst durch das Fahrzeug und vor allem durch die Astronauten verfälscht werden, die wegen des Kühlungssystems im Raumanzug, das auf Verdampfen von Wasser beruht, um sich eine Atmosphäre erzeugen; $10^{-4}$ Torr hat man in einem Meter Abstand von ihnen gemessen.

Ein recht wichtiges Instrument ist auch ein Magnetometer, das die drei Komponenten eines Magnetfeldes in drei zueinander senkrechten Richtungen misst. Der Mond hat offenbar kein allgemeines Magnetfeld wie die Erde. An der Landestelle von Apollo 12 wurde allerdings ein permanentes Feld von 35 Gamma, das ist rund $^1/_{1000}$ des Erdfeldes, festgestellt, doch muss das sehr lokal sein, auf eine Ausdehnung von höchstens 200 km, wahrscheinlich noch viel weniger, beschränkt. Seine Herkunft ist noch nicht geklärt, um so wichtiger sind weitere Messungen an vielen anderen Stellen. Ausserdem gibt es aber auch noch schwache vorbeifliegende Magnetfelder von etwa 5 Gamma, die der Sonnenwind mit sich trägt. Aus ihnen könnte man Schlüsse auf die elektrische Leitfähigkeit des Mondbodens und des Mondinnern ziehen und damit sogar auf die Temperatur im Innern.

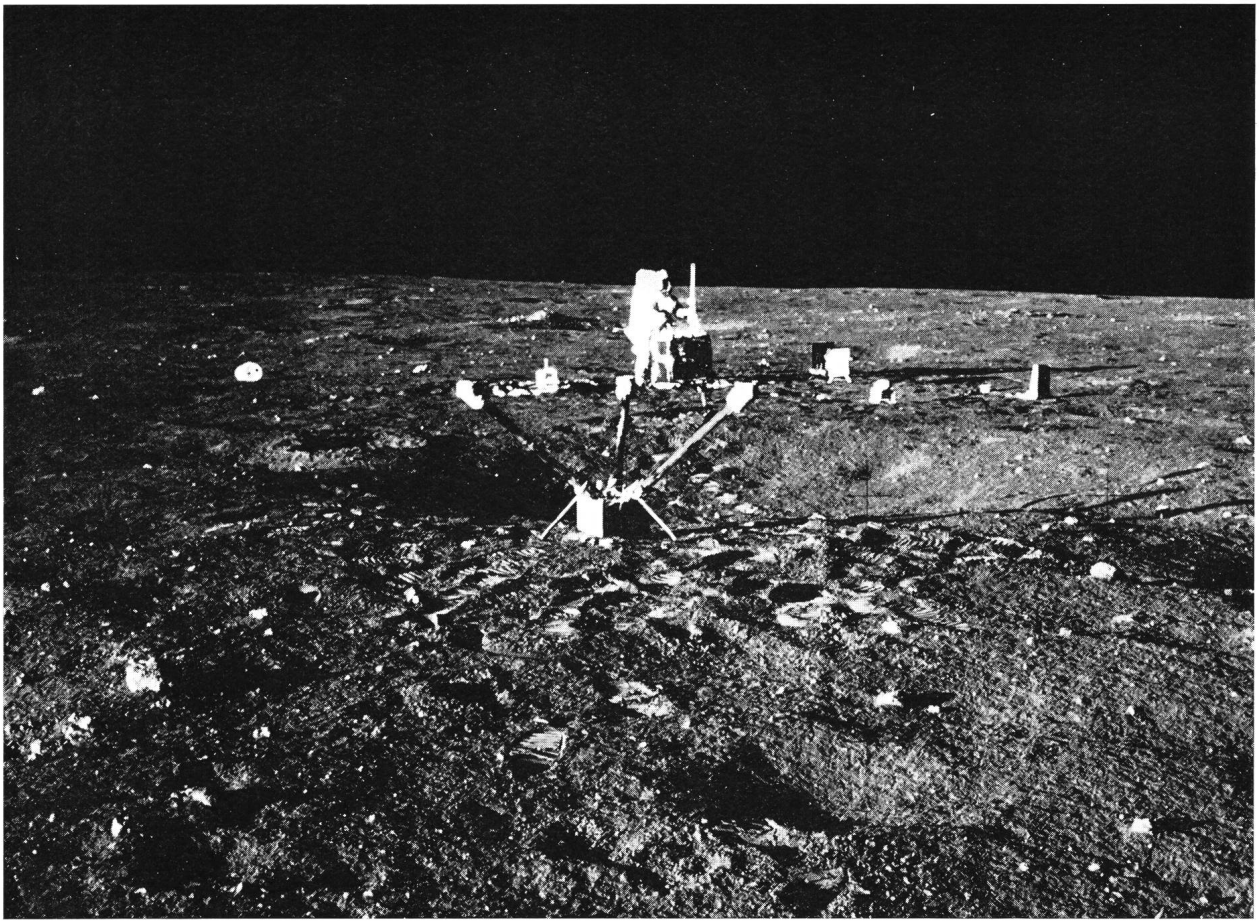

*Abb. 2:* Gesamtansicht der am Landeplatz von Apollo 12 im Ozean der Stürme aufgestellten Apparaturen (Aufnahme der NASA).

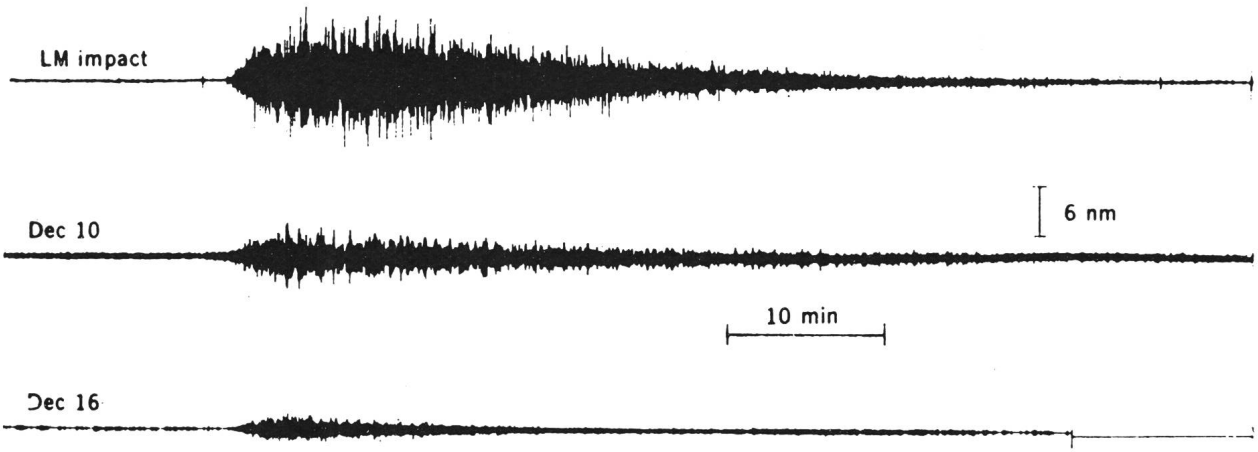


*Abb. 3:* Registrierungen der langperiodischen Vertikalkomponente der seismischen Wellen mit dem Seismometer, das von einer Arbeitsgruppe der Columbia-Universität unter der Leitung von Dr. GARRY V. LATHAM entwickelt wurde, am Landeplatz von Apollo 12. *Oben:* Der Aufsturz der Landefähre; *Mitte und unten:* Stärkere natürliche Erschütterungen.

Das Seismometer, das Apollo 12 mitbrachte, ist durch einen vielschichtigen Strahlungsschutz abgeschirmt. Das ist notwendig, denn bei Sonnenauf- und -untergang gibt es Temperaturänderungen von 200–300°, die man wenigstens in unmittelbarer Nähe des Seismometers herabzusetzen versucht, um lokale Erschütterungen infolge von Temperaturänderungen auszuschliessen. Dieses Seismometer ist nämlich viel empfindlicher als solche auf der Erde. Auf der Erde haben wir schrecklich viele Erschütterungen durch Winde, durch Wellen auf dem Meer, durch die Aktivitäten der Zivilisation, da ist eine so grosse Empfindlichkeit nur unnütz, doch auf dem Mond fällt dies alles weg, da ist es ruhiger. Man erkennt auf den registrierten Kurven zunächst eine Menge kleiner Ausschläge; sie müssen als Erschütterungen an der Oberfläche des Mondes gedeutet werden, als Einschläge von Meteoriten. Viel grösser ist der Ausschlag beim Aufprall der Mondlandefähre, die man nach dem Abflug vom Mond, als die Astronauten von der Fähre in das Hauptfahrzeug umgestiegen waren, wieder zum Mond schickte. Bei all diesen Registrierungen und ganz besonders bei der, die vom Aufprall der Fähre herrührt, ist auffällig und interessant, dass sie sehr langsam abklingen, sie dauerten beim Absturz der Fähre 5 Stunden. Das ist unvergleichlich viel länger, als es auf der Erde der Fall wäre, und man kann es nicht leicht restlos erklären. Sicherlich muss die Absorption der seismischen Wellen sehr gering sein; vielleicht kommt das daher, dass das Gestein nicht nur an der Oberfläche des Mondes, sondern auch im Innern sehr arm an Gasen und an Feuchtigkeit ist, doch ausserdem findet offenbar noch eine starke Streuung dieser Wellen statt. THOMAS GOLD entwickelte die Idee, dass, wenn die Mondoberfläche aus Staub besteht, dieser Staub mit der Tiefe sehr rasch an Dichte zunehmen muss, so sehr, dass diese seismischen Wellen eine starke Refraktion erleiden, ungleich grösser als die Refraktion der Lichtwellen in der Erdatmosphäre. Der Weg der Wellen ist derart gekrümmt, dass sie nach einiger Zeit wieder an die Oberfläche zurückgelangen, um dort abermals reflektiert zu werden, und so wiederholt es sich einige Male. Wie es im einzelnen auch sein mag, so kann man sich doch nach diesem seismischen Befund nicht des Eindruckes erwehren, dass bis zu relativ grossen Tiefen von vielleicht vielen Kilometern das Material recht inhomogen sein muss.

Viele Geologen, oder besser sollte man hier Selenologen sagen, vertreten indes die Ansicht, dass die Mondmeere von einer einige Meter dicken Staubschicht bedeckt sind, unter der dann schon das feste zusammenhängende Grundgestein liegt. Aus den Bildern von den terrassenförmigen Absätzen in Kratern könnte man dies schliessen und auch bei dem Krater, zu dem ARMSTRONG in der Nähe des Landeplatzes ging, scheint man zu erkennen, dass auf dem Grund des Kraters harter Fels hervorkommt. Da aber die seismischen Beobachtungen und auch die daraus berechneten Geschwindigkeiten der Longitudinalwellen sich nicht bei einer so dicht unter der Oberfläche befindlichen, zusammenhängenden, harten Felsschicht verstehen lassen, dürfte diese Vorstellung wohl doch nicht so ganz zutreffen. Das erwähnte Hervortreten von Fels mag schon rein lokal vorkommen, aber im ganzen wird das Grundgestein wohl doch recht zerschlagen und voller Lücken sein.

Zu den Kratern wäre dabei gleich noch zu sagen: Ob wir ein grosses Stück der Mondoberfläche, ein kleineres oder ein ganz kleines betrachten, immer haben wir den gleichen Anblick, die Oberfläche ist übersät von Kratern, grossen, kleinen, ganz kleinen, und aller Wahrscheinlichkeit nach sind sie zum grössten Teil durch Einschläge von Meteoriten entstanden, also von grösseren und kleineren Gesteins- und Metalltrümmern oder von Bruchstücken von Kometen.

Eine wichtige Aufgabe der Astronauten bestand darin, Gesteinsproben zu sammeln und mitzubringen. Bei Apollo 11 waren es insgesamt 22 kg, bei Apollo 12 34 kg; bei Apollo 11 musste es eilig vonstatten gehen, weil nicht viel Zeit dafür zur Verfügung stand, bei Apollo 12 hatte man mehr Zeit, es waren sogar zwei Ausstiege und zwei Exkursionen vorgesehen. Nach-

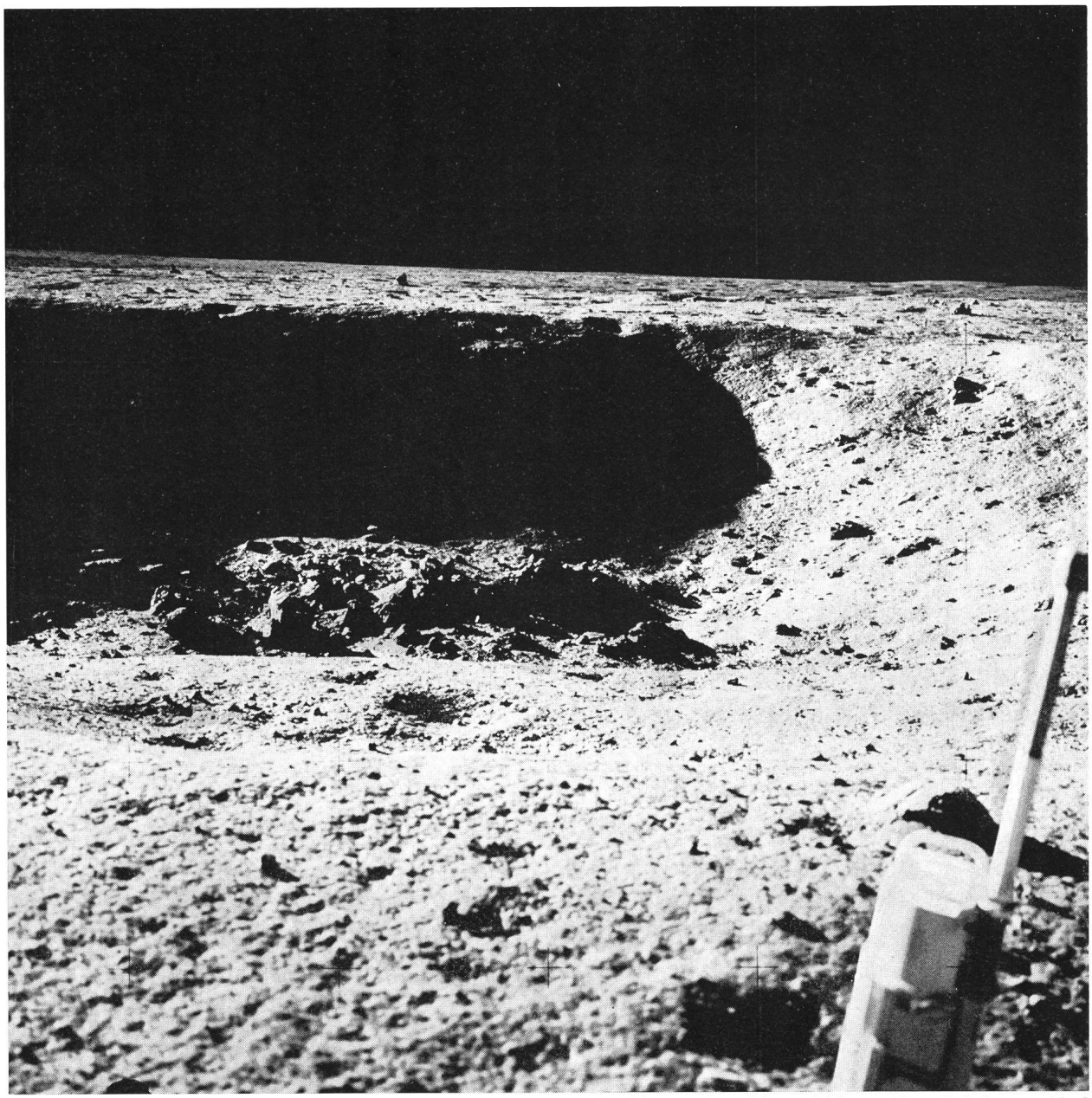

*Abb. 4:* Der Krater im Meer der Ruhe, zu dem ARMSTRONG ging und auf dessem Grund harter Fels zum Vorschein kommt (Aufnahme der NASA).

dem der Kommandant CONRAD nach der Landung seine Position genau festgestellt und gemeldet hatte und bei der ersten Exkursion alle Geräte plangemäss aufgebaut worden waren, so auch das schweizerische Sonnenwindsegel, wurde in Houston rasch auf einer Karte der zweckmässigste Weg für die Exkursion eingezeichnet und den Astronauten per Funk übermittelt, die dann nach der vorgeschriebenen Ruhepause diese sorgsam geplante geologische Exkursion getreulich ausführten. Recht wichtig war es bei diesen Exkursionen, dass die Astronauten, bevor sie die Steine aufhoben, diese Stelle photographierten, und nachdem sie die Steine weggenommen hatten, wieder. So ist auf diese Weise genau dokumentiert, wo und wie der Stein gelegen hat und wo jetzt einer fehlt.

Aus Steinen und aus Staub besteht der Boden in den Mondmeeren; das Mengenverhältnis Staub zu Stein variiert aber sehr, so gab es beim Apollo-12-Landeplatz offenbar relativ mehr Steine als beim Apollo-11-Landeplatz, aber auch bei beiden Landeplätzen variierte es. Der Staub benimmt sich übrigens ähnlich wie feuchter Sand, doch ist er nicht etwa wirklich feucht, Wasser wäre ja sofort verdampft, sondern dieses gleichsam leichte Kleben kommt daher, dass überhaupt keine Gase zwischen den Staubkörnern vorhanden sind, Staubkorn ruht direkt auf Staubkorn, und dadurch sind die Kohäsionskräfte stärker. Deshalb und auch wegen ihres hohen Alters ist die Mondoberfläche recht fest, im allgemeinen sinkt man nur wenig ein, wie man es auch bei den Landefüssen der Fähre sieht. Einzig

am Rand von relativ jungen grösseren oder kleineren Kratern gibt es weichere Stellen, wo man tiefer einsinkt, so ALDRIN z. B. mal etwa 10 cm, als er mit Geräten beladen ist. Das ist ziemlich viel, denn auf der Erde hätte er mit seiner Last zwar ein Gewicht von rund 200 kg, doch auf dem Mond ist es wegen der geringen Schwerkraft nur ein Sechstel davon.

Ganz interessant ist noch, dass die Apollo-12-Astronauten in der dortigen Mondlandschaft einige flache, ziemlich symmetrische Hügel von einigen Metern Durchmesser entdeckt haben; man versteht noch nicht so recht, wie die entstanden sein können. Weiter ist erwähnenswert, dass man sich nicht nur mit dem Einsammeln und Einschaufeln von Gestein und Staub begnügt hat, sondern man hat auch Bohrkerne in den Boden eingeschlagen, um die Zusammensetzung und den Zustand des Staubes mit zunehmender Tiefe studieren zu können. Bei Apollo 11 kam man dabei 12–15 cm, bei Apollo 12 bis 50 cm tief, und solche Proben werden auch in Bern vor allem im Hinblick auf die Wirkung vom Sonnenwind und von kosmischen Strahlen untersucht.

Betrachten wir nun den Staub einmal ein bisschen genauer. Er ist recht fein mit einer typischen Korngrösse von etwas weniger als einem Zehntel Millimeter und besteht aus Trümmern von Gestein, von Kristallen, von Glas; häufig sind auch Kugeln darunter bis zu einem Durchmesser von sogar einigen Zehntel Millimetern. Das Entstehen dieser Kugeln kann man sich gut folgendermassen vorstellen. Mit einer Geschwindigkeit von rund 10–15 km/s treffen Meteoriten auf, durch den Einschlag entsteht ein Krater, und die durch den Aufprall erzeugte Wärme ist so gross, dass Teile des Gesteins schmelzen, Schmelztropfen werden emporgeschleudert und nehmen durch die Oberflächenspannung die Form von perfekten Kugeln an, da es auf dem Mond ja keinen Luftwiderstand gibt, der auf die Kugeln deformierend einwirkt. Gelegentlich vorkommende längliche Gebilde kann man vielleicht als erstarrte Schwingungen solcher Kugeln auffassen.

Schaut man bei starker Vergrösserung die Oberfläche eines Mondgesteins an, so sieht es fast aus wie ein Stück der Mondoberfläche, sie ist übersät von zahllosen winzigen Kratern, und das geht so weiter bis zu

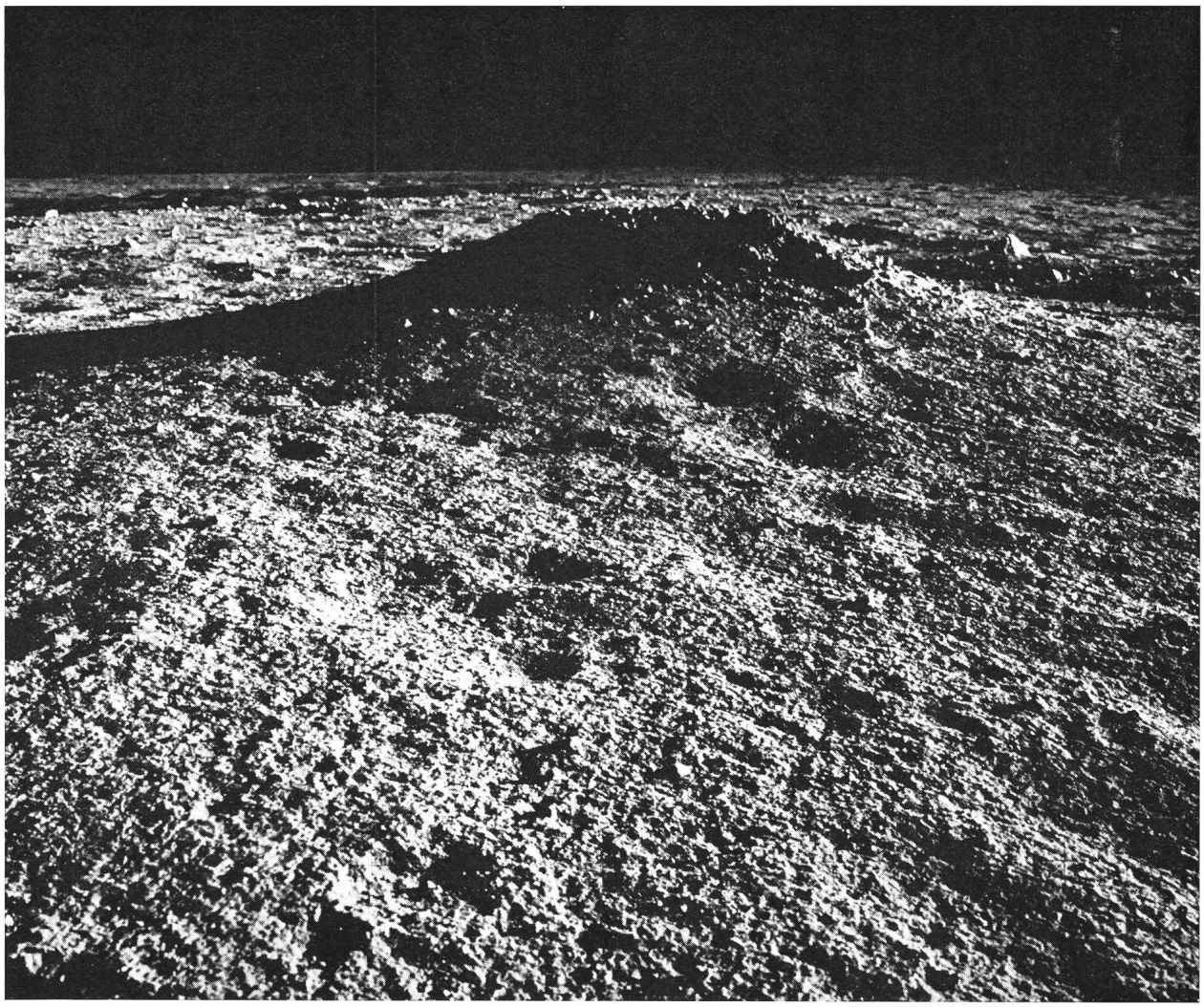

*Abb. 5:* Flache Hügel im Ozean der Stürme (Aufnahme der NASA).

den kleinsten Einzelkristallen, wo diese Krater nur noch Bruchteile von Millimetern gross sind, alles Einschläge von Meteoriten und Mikrometeoriten.

Zwei Haupttypen kann man beim Gestein unterscheiden. Brekzien und kristallines Gestein. Bei den Brekzien handelt es sich um zusammengestauchten Staub, der einerseits durch den andauernden Packungsdruck, andererseits wohl auch durch Schockwirkungen bei benachbarten Einschlägen verhärtet ist, mit anderen Worten zusammengedrückte Trümmer, an Härte vielleicht mit Sandstein vergleichbar. Man kann diese Schockmetamorphose sehr hübsch an kleinen Kristallfragmenten sehen, die rasch aufgeschmolzen und dann wieder kristallisiert sind. Sehr häufig findet man so etwas auf dem Mond, aber auch bei Meteoriten, doch normalerweise nicht auf der Erde. Die echten kristallinen Gesteine prüft man vorteilhaft mit polarisiertem Licht, man erkennt dann direkt die Lage der Kristallachsen. Diese Kristalle sind langsam aus einer Schmelze erstarrt und gewachsen, sie werden um so grösser, je langsamer das geschieht. In vielen Gesteinen betragen sie nur Bruchteile von Millimetern, in anderen sind sie grösser, bis zu einigen Millimetern.

Auf der Mondoberfläche gibt es wenig Wasserstoff und Kohlenstoff, daher sind die Mineralien dort ziemlich einfach und einförmig, man hat nur eine bescheidene Auswahl. Im Meer der Ruhe sind es wohl zu 98 % Feldspäte (Plagioklas, $SiO_2$ reiche Ca-Na-Al-Silikate), Pyroxene ($SiO_2$ arme Mg-Fe-Ca-Silikate) und schwarze Ilmenite ($FeTiO_3$). Auf der Erde sind die Mineralformen vor allem wegen der Anwesenheit von Wasser viel komplizierter. Man kennt nur einige wenige Mineralien auf dem Mond, die auch dort selten sind, die man bisher auf der Erde nicht gefunden hat.

*Abb. 6:* Aufnahme der Oberfläche eines Mondgesteins von Dr. Norbert Grögler, Physikalisches Institut der Universität Bern.

Von Interesse ist der Vergleich der Häufigkeit der Elemente auf der Sonne, auf der Erde, auf dem Mond, in den Meteoriten, von denen hier nur die Chondrite in Betracht gezogen werden sollen, nicht die viel selteneren Eisenmeteorite, die fast reines Eisen und Nickel sind. Die Sonne und die Chondrite präsentieren uns das Material, wie es ungefähr bei der Bildung des Sonnensystems vorhanden war, und abgesehen von den flüchtigen Elementen, welche die Meteoriten verloren haben, ist hier bei beiden die Elementenhäufigkeit praktisch die gleiche. Bei der Erde sieht das schon ein bisschen anders aus; die Basalte haben im Verhältnis zu den Chondriten weniger Magnesium, aber mehr Kalium und viel mehr Kalzium und vor allem viel mehr Uran und entsprechend Thorium, Granit zeigt die Unterschiede gegen das Ausgangsmaterial sogar noch deutlicher. Bei den Mondgesteinen variiert die Zusammensetzung innerhalb der Proben von Apollo 11 und der von Apollo 12 nur wenig, bei letzteren noch etwas mehr, die Gegend dort scheint abwechslungsreicher zu sein, auch hat man von dort ja mehr mitgebracht. Gegen die Meteoriten kann man aber auffällige Differenzen feststellen. Sehr wenig Blei und relativ wenig Alkalien findet man, aber viel Kalzium und sehr viel Titan, und dieser Titanüberschuss ist besonders ausgeprägt im Meer der Ruhe und scheint sich dort über einen ziemlich grossen Bezirk zu erstrecken, denn auch schon zwei Jahre vorher war bei einer unbemannten Landung 25 km davon entfernt nach Untersuchung mit einer sehr einfachen, aber genialen Apparatur ein hoher Titangehalt gemeldet worden, wie wir es in dieser Art auf der Erde nicht kennen.

Die Zusammensetzung vom Staub ist ähnlich und doch auch wieder etwas anders. Man kann das am besten so deuten, dass der Staub eine Mischung von Teilchen aus einem recht ausgedehnten Gebiet von vielleicht mehreren hundert Kilometern ist, sozusagen ein Mittelwert von einem grossen Bereich, während die Steine rein lokale Proben sind, sie sind durch kleinere Krater in der Nähe ausgeworfen worden und liegen nun hier an der Oberfläche.

Recht günstig ist es, dass in den Steinen der Urangehalt relativ zum Bleigehalt sehr hoch ist, dadurch hat man die Möglichkeit, das Alter im Prinzip sehr genau zu ermitteln. Die hier angewandte Methode der Altersbestimmung beruht darauf, dass man die Menge des durch radioaktiven Zerfall entstandenen Bleis mit der Gesamtmenge des Bleis vergleicht, und das funktioniert um so besser, je mehr Uran wir dort haben. Blei hat mehrere Isotopen, und es genügt hier, davon nur die drei 204, 206 und 207 zu betrachten, von denen

204 nicht durch diesen radioaktiven Zerfall entsteht, wohl aber 206 und 207 aus den beiden Uranisotopen. Die Menge von 206 und 207 nimmt drum mit der Zeit zu und um so rascher, je mehr Uran vorhanden ist, und um so rascher ändert sich dann auch das Isotopenverhältnis (206 + 207) zu 204. Nach dem Vorschlag des verstorbenen Prof. F. G. HOUTERMAN, der früher in Bern gewirkt hat, kann man hierfür ein zweckmässiges Diagramm verwenden, in das gerade Linien, Isochronen, die Geraden gleichen Alters, eingesetzt sind. Aus dem Verhältnis von Uran zu Blei und dem Bleiisotopenverhältnis liest man aus diesem Diagramm direkt das Alter ab und kann zudem gleich abschätzen, wie zuverlässig dieser Wert ist. Für die Erde bekommt man aus Gesteinsblei etwa 4½ Milliarden Jahre, doch ist das nach dieser Methode etwas unsicher, beim Mondstaub findet man 4.7 Milliarden Jahre und erkennt zugleich aus dem Diagramm, dass dieser Wert recht genau sein muss. Es wäre wichtig, dass wir durch weitere Mondlandungen dieses Ergebnis bestätigen könnten, vor allem auch durch Proben aus Gebirgsgegenden. Da uns indes nach den früheren Überlegungen der Staub über ein ziemlich grosses Gebiet Aufschluss gibt, so dürften wohl doch diese 4.7 Milliarden Jahre ganz allgemein das Alter der Mondoberfläche angeben. Zu bemerken wäre noch, dass der Urangehalt im Mondinnern sicherlich nicht überall so hoch ist, sonst wäre das Innere wegen der radioaktiven Erwärmung vollständig geschmolzen.

Die nächste Frage wäre wohl nun: Wann haben sich die verschiedenen Mineralien aus der ursprünglich homogenen Mischung gebildet, wann sind sie als diese Mineralien, wie wir sie jetzt vorfinden, aus dieser Schmelze erstarrt? Beim Plagioklas, einem Feldspat-Mischkristall aus Anorthit und Albit, müssen aus dem Urgemisch z. B. Kalzium-Atome hingewandert sein, bei Pyroxen Eisen und Magnesium, beim Ilmenit Eisen und vor allem Titan. Um diesen Zeitpunkt zu ermitteln, kann man ebenfalls eine auf radioaktivem Zerfall basierende Methode anwenden, und zwar benutzt man den radioaktiven Zerfall des Rubidiumisotops 87, aus dem sich Strontium 87 bildet. Ohne auf Einzelheiten einzugehen, ist das Prinzip, dass man davon Gebrauch macht, dass das dem Kalzium verwandte Strontium bevorzugt in die Plagioklase diffundiert, das Rubidium ins Ilmenit, wo es dann zerfällt. Mit dieser Methode fand die Arbeitsgruppe von Prof. G. J. WASSERBURG in Pasadena für die Apollo-11-Gesteine ein Alter von 3.7 Milliarden Jahren. Es muss also eine Milliarde Jahre nach der Entstehung des Mondes diese Gesteinsschmelze noch existiert haben, und da fragt es sich nun weiter, durch welche Energiequellen die Gesteine überhaupt zum Schmelzen gebracht wurden. Die Beantwortung dieser Frage ist noch keineswegs ganz klar, vor allem, wenn man folgendes beachtet. Es sind auf dem Mond ganz einwandfrei starke Anomalien des Gravitationsfeldes festgestellt worden, sogenannte Mascons, und das bedeutet, dass im Aufbau des Mondes grosse Ungleichförmigkeiten vorhanden sind, die wiederum zu starken Spannungen gegen die Unterlage führen müssen. Dass sich dies im Laufe der Zeit nicht durch Absinken der schweren Massen ausgeglichen hat, lässt sich nur bei einer gewissen Festigkeit des Mondes verstehen, woraus dann wieder folgt, dass das Material ziemlich kalt ist. Wie ist es nun aber dazu gekommen, dass vor langer Zeit im Mondinnern solche Mengen so heiss waren, dass die beschriebenen Gesteinsbildungen stattfanden? Man könnte daran denken, dass das vielleicht doch nur ein lokales Phänomen war, dass durch gewaltige Einschläge die Energie zum Aufschmelzen ausgedehnter Gebiete geliefert wurde, doch ist dies Problem noch keineswegs überzeugend gelöst. Es werden noch sehr viele Prüfungen und Untersuchungen nötig sein, bis alles zusammenstimmt.

3.7 Milliarden Jahre ist es her, seit sich ein solcher Mondstein, wie ihn die Astronauten mitgebracht haben, aus der Schmelze herauskristallisiert hat. Wie lange hat er aber wohl dort an der Mondoberfläche gelegen? Aus Schätzungen der Einschlagkrater von Meteoriten, durch die ein gewisses Umpflügen der Mondoberfläche zu erwarten ist, waren die Geologen dafür auf 1 Million Jahre gekommen. Jetzt nun, wo wir solche Steine in der Hand haben, können wir diese Zeitspanne, nach der wir fragten, genau messen, und zwar aus der Wirkung der kosmischen Strahlung. Die kosmische Strahlung ist sehr energiereich und zertrümmert auf der Mondoberfläche beim Auftreffen Atomkerne, nach dem Mondinnern zu nimmt ihre Intensität allerdings rasch ab, schon in 1 Meter Tiefe ist sie stark abgeschirmt. Auf diese Weise werden durch die kosmische Strahlung aus Atomkernen von Strontium, von Zirkon und von anderen Elementen ähnlicher Atomgewichte Atomkerne von Krypton geschaffen, und man kann sich überlegen, dass dabei die leichten der 6 stabilen Kryptonisotopen entstehen müssen. Krypton ist als Edelgas sonst in diesem Gestein sehr selten, es entsteht hier praktisch nur durch die Wirkung der kosmischen Strahlung, und darum sind auch im Mondgestein gerade die leichten Isotope relativ häufig, während es beim Krypton auf der Erde und auch im Sonnenwind gerade umgekehrt ist. In Bern wurden nun die Mengen der einzelnen Kryptonisotopen in dem Gestein gemessen, und mit einem eleganten Trick, der hier nicht im einzelnen auseinandergesetzt werden soll, hat man daraus die Bestrahlungszeit ausgerechnet. Es ergab sich: Die Steine haben einige hundert Millionen Jahre dort oben gelegen, vielleicht nicht immer ganz an der Oberfläche, aber höchstens 1 m darunter. Das heisst also, dass Veränderungen auf der Mondoberfläche ein sehr gemächliches Tempo haben, ganz anders als auf der Erde, wo Umwälzraten von Dezimetern oft in einigen Jahren vor sich gehen, in sehr ruhigen Gebieten vielleicht in Jahrhunderten oder gar in Jahrtausenden. Welche Prozesse überhaupt Änderungen der Mondoberfläche bewirken, muss man auch noch sehr genau prüfen, denn es sind ja dort ganz andere Verhältnisse als auf der Erde, ganz andere Dinge werden eine Rolle spielen. Die Untersuchung

der Staubproben aus den Bohrkernen werden uns bei der Beantwortung dieser Frage sicherlich sehr von Nutzen sein.

Die kosmische Strahlung ist also nach dem eben Ausgeführten ein wichtiges Hilfsmittel, um etwas über die Geschichte der Mondoberfläche zu erfahren. Kennt man dann einmal diese Geschichte, dann kann man umgekehrt daraus Schlüsse auf die kosmische Strahlung ziehen. Man hat einen solchen Weg schon bei Untersuchungen von Meteoriten beschritten, auch Bern war daran beteiligt, und hat dabei feststellen können, dass sich die Intensität der kosmischen Strahlung in den letzten paar Millionen Jahren wohl kaum geändert hat und dass die kosmische Strahlung sicher seit einer Milliarde Jahre existiert. Die Mondoberfläche, die sich offensichtlich so wenig ändert und so alt ist, sollte eigentlich für die Untersuchung der kosmischen Strahlung direkt prädestiniert sein, nur wird es doch noch ein Weilchen dauern, bis wir soweit sind. Man wird noch weitere Gesteinsproben benötigen, weitere Bohrkerne, beides von speziell ausgewählten Stellen, man wird sehr sorgfältige Analysen durchführen und man wird vielleicht auch noch andere Methoden ersinnen müssen.

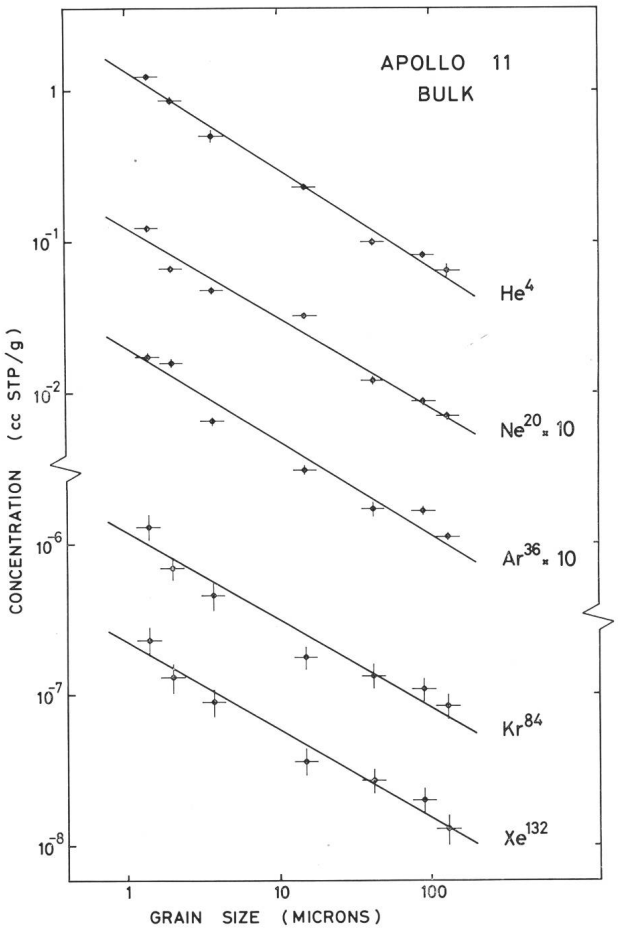


*Abb. 7:* Die Abnahme des Edelgasgehalts mit der Korngrösse für Helium, Neon, Argon, Krypton, Xenon, nach Untersuchungen am Physikalischen Institut der Universität Bern von P. Eberhardt, J. Geiss, H. Graf, N. Grögler, U. Krähenbühl, H. Schwaller, J. Schwarzmüller, A. Stettler.

Die genau gleichen Aspekte wie bei der kosmischen Strahlung haben wir nun auch beim Sonnenwind. Man kann ihn benutzen, um über die Mondoberfläche etwas zu erfahren, man kann aber auch den Sonnenwind gerade auf dem Mond besonders gut studieren. Der Sonnenwind ist nichts anderes als die äusserste Hülle der Sonne, die Sonnenkorona, die mit nach aussen ständig wachsender Geschwindigkeit expandiert und somit, in allerdings sehr hoher Verdünnung, den ganzen interplanetaren Raum erfüllt. Wegen der hohen Temperatur der Korona von 1–2 Millionen Grad, sind die Atome darin weitgehend ionisiert, so dass der Sonnenwind aus Ionen und freien Elektronen besteht. Die Dichte wird, wie gesagt, mit zunehmendem Abstand von der Sonne immer geringer, in der Nähe des Mondes haben wir nur noch etwa 5 Ionen pro $cm^3$ mit Geschwindigkeiten von allerdings 300–400 km/s, also einen sehr kräftigen Wind. Die Wirkung des Sonnenwindes kann man an den Kometenschweifen sehen, das sind verdampfte Gasteilchen des Kometen, die vom Sonnenwind fortgeblasen werden, sie liegen in der Windrichtung, also der Sonne stets abgewandt, wie man schon immer beobachtet hat.

Da der Mond praktisch kein Magnetfeld hat, treffen die geladenen Sonnenteilchen ungehindert direkt auf seine Oberfläche auf und können $^1/_{10000}$ mm oder $^1/_{10}$ $\mu$m tief in das Kristallgitter des Mondgesteins eindringen und werden dort stecken bleiben, dazu reicht diese Tiefe aus. Man kann die Sonnenwindteilchen tatsächlich vorweisen, wie Untersuchungen in Bern gezeigt haben, und zwar sehr deutlich durch die Edelgase, da diese im Gestein sonst nicht vorkommen. Sortiert man den Mondstaub nach der Grösse der Körner, dann sind bei kleinen Korngrössen alle fünf Edelgase: Helium, Neon, Argon, Krypton, Xenon vorhanden; der Gehalt der Körner an Edelgasen nimmt aber mit wachsender Korngrösse ab. Das ist leicht zu verstehen. Die Gase sitzen nur in einer bei allen Körnern gleich dicken Oberflächenschicht und das Verhältnis des Volumens dieser Oberflächenschicht zum Volumen des ganzen Korns wird kleiner, wenn die Körner grösser sind, wie man ohne weiteres einsieht. Auch bei Ilmenitkörnern kann man die Wirkung des Sonnenwindes sehr schön zeigen. Ilmenit hat die Eigenschaft, die eingedrungenen Gase durchwegs sehr gut festzuhalten, während sie bei anderen Mineralien leichter herausdiffundieren. Bei einem Experiment in Bern hatte man solche Ilmenitkörner mit einem mittleren Durchmesser von 42 $\mu$m ausgesiebt und dann wurde ihre Oberfläche abgeätzt. Wenn man eine Schicht von nur 0.2 $\mu$m abätzt, dann sind im restlichen Korn schon fast keine Gase mehr enthalten, weil der Sonnenwind eben nicht tiefer eingedrungen ist, wie vorher schon gesagt war. Es sollte darum also auch möglich sein, aus dem Mondstaub das Isotopenverhältnis der Xenonisotope auf der Sonne zu bestimmen, denn die werden ja doch vom Sonnenwind hierher transportiert. Wollte man das bei

den leichteren Gasen, besonders bei Helium, auch so machen, so ist dafür allerdings der Mondstaub weniger geeignet, da bei der starken Erwärmung der Mondoberfläche durch die Sonnenbestrahlung am Tage die leichten Gase dann in erhöhtem Masse herausdiffundieren werden, und aus diesem Grunde, um eben die Zusammensetzung des Sonnenwindes wirklich unverfälscht und einwandfrei zu messen, wurde das Sonnenwindexperiment mit dem Sonnenwindsegel gemacht.

Der Gedankengang dieses Experimentes ist ganz einfach. Man setzt auf dem Mond, wo wegen des Fehlens eines nennenswerten Magnetfeldes der Sonnenwind nicht beeinflusst wird, eine Aluminiumfolie dem Sonnenwind aus, dessen Teilchen in diese Folie genau so wie in den Mondstaub eindringen werden. Die Folie wird von den Astronauten zurückgebracht, sie wird geschmolzen und verdampft und man kann nun die Sonnenwindteilchen mit dem Massenspektrometer untersuchen. Der Vorteil gegenüber dem Mondstaub besteht darin, dass man jetzt genau weiss, dass keine Sonnenwindteilchen während des Aufenthaltes der Folie auf dem Mond bei der herrschenden Temperatur herausdiffundiert sind, man kann also die Zusammensetzung der Materie des Sonnenwindes quantitativ exakt ermitteln, während man bei Mondstaub für die Diffusionsrate recht hypothetische und unkontrollierbare Annahmen machen musste. Vorversuche mit einem simulierten Sonnenwind hatten dabei Aluminium als eine besonders zweckmässige Substanz erwiesen, auch waren dabei wichtige Kalibrierungsdaten erhalten worden, so z. B., dass bei einem derartigen Beschuss von Helium 90% eindringen, während die restlichen 10% abprallen, reflektiert werden, ferner auch, dass bei diesem Prozentsatz die Geschwindigkeit des Sonnenwindes oberhalb von 250 km/s praktisch gar keine Rolle spielt, sodann, dass man bei Argon, Neon und den anderen Edelgasen damit rechnen kann, dass hier 100% in die Folie eindringen.

Dieses Experiment war von der Universität Bern in Zusammenarbeit mit der ETH Zürich der NASA vorgeschlagen worden, Geiss, Eberhard, Bühler, Meister von Bern, Signer von Zürich waren daran beteiligt. Die NASA nahm es an, begrenzte aber das zulässige Gesamtgewicht auf 1 pound, das sind 453.6 g. Das war eine Einschränkung, die die praktische Ausführung natürlich erschwerte, aber es gelang, noch etwas unterhalb dieser Grenze zu bleiben. Die ganze Apparatur besteht aus einem teleskopischen Stab, den man auf eine Länge von 1.60 m ausziehen kann und in den man die Folie zusammengerollt hineinsteckt. Zum Gebrauch wird der Stab auseinandergezogen, die Folie wird herausgenommen, entrollt und an dem Stab aufgehängt; sie hat eine Breite von 30 cm. In Houston wurde dieses Instrument dann auf die mannigfachste Weise getestet, Vibrationsteste wurden gemacht, Gravitationsteste in einem Parabelflug und noch manches andere mehr. Ferner wurde etwa ein halbes Jahr vor dem Abflug von der NASA ein Zeitplan aufgestellt, in dem alles eingetragen wird, was die Astronauten tun sollen, in welcher Reihenfolge vor allem und wieviel Zeit für jede Handlung zur Verfügung steht. Da es natürlich wichtig ist, dass die Folie dem Sonnenwind recht lange ausgesetzt ist, um so mehr sammelt sie ja davon auf, so musste man hart darum kämpfen, dass das Aufstellen möglichst frühzeitig erfolgte. Der Kampf war erfolgreich, das Aufstellen der Folie kam sogar vor dem Hissen der amerikanischen Flagge dran und 45–50 Minuten wurden dafür reserviert. Als Kuriosum wäre zu erwähnen, dass man beim Zeitplan zuerst vergessen hatte, dass die Folie am Schluss auch wieder eingerollt und mitgenommen werden muss, aber nachträglich hat man auch dies noch einbauen können. Selbstverständlich ist dieser Zeitplan sehr wichtig und muss auch von den Astronauten gut durchexerziert werden, damit die knappe zur Verfügung stehende Zeit auch wirklich voll ausgenutzt wird und man nichts von dem vergisst, was vorgesehen ist. Die Astronauten haben sich auch gut daran gehalten.

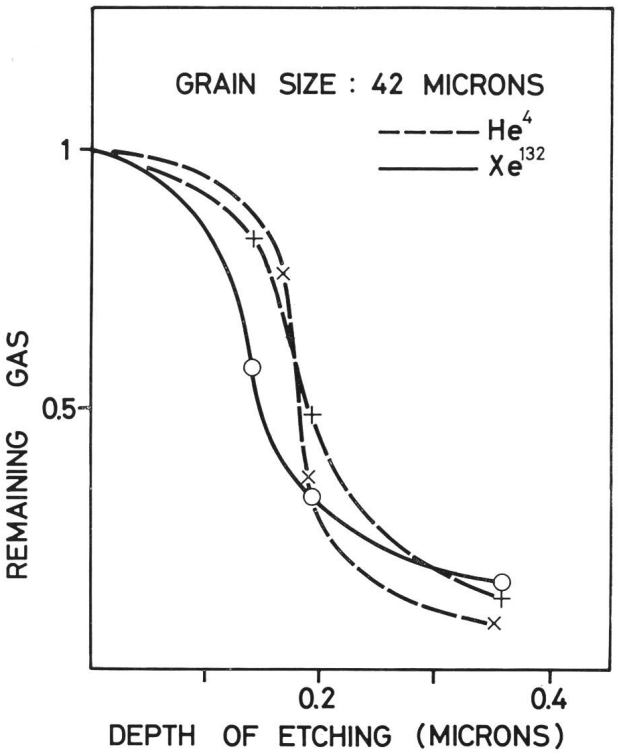


*Abb. 8:* Abnahme des Edelgasgehalts von Ilmenitkörnern von 42 $\mu$m Durchmesser mit der Dicke der abgeätzten Oberflächenschicht nach Untersuchungen am Physikalischen Institut Bern von den bei Abb. 7 genannten Autoren.

Bei Apollo 11 war die Folie 77 Minuten, bei Apollo 12 19 Stunden dem Sonnenwind ausgesetzt. Die Folie musste beim zweiten Mal übrigens etwas schräg gestellt werden, weil die Position der Sonne sich in diesem Zeitintervall um etwa 10 Grad änderte. Programmgemäss wurde die Folie zur Erde zurückgebracht und kam nach Ablauf der Quarantänezeit nach Bern. Da bemerkte man zunächst, dass doch Mondstaub auf die Folie gekommen war, den man natürlich

erst beseitigen musste, damit die Resultate nicht verfälscht wurden. Die Säuberung gelang mit Ultraschallwellen.

Die Rolle der Folie hat einen Durchmesser von 1.7 cm; die Folie war erst einmal da herumgewickelt und hing dann frei herunter. Zuerst wurden kleinere Stücke von $8 \times 20$ mm aus dem oberen Teil herausgeschnitten und auf ihren Gehalt an Helium 4 untersucht. Helium 4 ist auf der Sonne sehr häufig, verglichen mit der Zahl der Wasserstoffatome sind es 4–8 %, und bei der Apollo-11-Folie findet man $2 \times 10^{10}$ Heliumatome pro $cm^2$. Wenn man nun Proben aus dem Teil über der erwähnten Rolle prüft, so wird der Heliumgehalt immer weniger, je schräger der Sonnenwind aufgetroffen ist, und bei den Stücken, die im Schatten der Rolle lagen, ist er praktisch gleich Null. Das zeigt klar und anschaulich, dass der Sonnenwind in einem gerichteten Strahl völlig ungestört auf die Mondoberfläche auftrifft, und es ist wertvoll, dass hiermit nun einmal der strenge Beweis für diese bisher stets vorausgesetzte Annahme erbracht worden ist.

An grösseren Stücken der Folie von 10–100 $cm^2$ Fläche wurden dann weitere, sehr detaillierte Untersuchungen mit Massenspektrometern durchgeführt, um den Gehalt an den verschiedenen Isotopen vom Helium und vom Neon zu ermitteln. Helium 4 war schon früher durch unbemannte Satelliten nachgewiesen und gemessen worden, aber für das seltene Helium 3 und die drei Neonisotope 20, 21, 22 fehlten bisher solche Bestimmungen. Nach den jetzigen Ergebnissen variiert übrigens offenbar das Verhältnis der Heliumisotope, was man auch aus der Dynamik der Korona begreifen kann, bei den Neonisotopen ist so etwas aber nicht festzustellen. Schon deshalb ist es recht wichtig, noch weiteres derartiges Material durch neue Mondflüge zu gewinnen, damit man einerseits einen Begriff vom Ausmass solcher Schwankungen bekommt, andererseits aber auch einen zuverlässigen Mittelwert erhält. Zu erwähnen wäre dabei, dass die Werte für das sehr seltene Neon 21 vorerst auch noch ziemlich unsicher sind, also auch hierfür ist weiteres Material vonnöten.

Interessant ist noch der Vergleich der im Sonnenwind gefundenen Isotopenverhältnisse mit den entsprechenden Isotopenverhältnissen in der Erdatmosphäre. Dass diese Zahlen bei Helium in beiden Fällen sehr verschieden sind, verwundert weiter nicht, denn das Helium 4 in der Erdatmosphäre stammt im wesentlichen vom radioaktiven Zerfall in Gesteinen, aus denen es dann herausdiffundiert. Beim Isotopenverhältnis von Neon 20 zu Neon 22 findet man einen Unterschied von etwa 30 %, das leichtere Isotop ist im Vergleich zum schwereren in der Erdatmosphäre nicht ganz so häufig wie im Sonnenwind. Die Verhältniszahlen im Sonnenwind dürften dabei ziemlich identisch mit denen auf der Sonne sein, denn unterwegs kann nicht viel passiert sein, dass es aber in der Erdatmosphäre anders ist, ist ein Befund, den man beachten muss, wenn man Theorien über die Entstehung der Erdatmosphäre oder allgemein der Planetenatmosphären entwickelt. Einer der Gründe für diese Diskrepanz ist allerdings wahrscheinlich darin zu suchen, dass das leichtere Isotop dem Gravitationsfeld der Erde bequemer zu entrinnen vermochte.

Auch das Verhältnis vom Wasserstoff zum Neon im Sonnenwind ist von Interesse, man findet dafür rund 10000, während Schätzungen der kosmischen Strahlung etwa 2000 ergeben hatten; das ist immerhin ein recht beachtlicher Unterschied. Vielleicht ist Neon wirklich seltener, als man bisher angenommen hatte, vielleicht bleibt es auch im Sonnenwind zurück oder kommt gar nicht erst recht in die Korona hinein, weil es soviel schwerer ist als Wasserstoff. Diese Frage lässt sich noch nicht eindeutig beantworten, man wird es besser entscheiden können, wenn man die Verhältnisse beim noch schwereren Argon kennt. Es besteht die Hoffnung, dass auch noch Argon aus den Folien gewonnen werden kann, und das wäre dann bestimmt sehr aufschlussreich.

Vergleicht man schliesslich noch die Daten aus den Folien mit denen aus dem Mondstaub, so ist darauf hinzuweisen, dass der Mondstaub den Vorteil hat, dass er mehr Gase enthält, man wird also in manchen Fällen die relativen Beiträge der Sonnenwindgase genauer erhalten, andererseits muss man bedenken, dass bei der Erwärmung am Mondtag die leichteren Gase in mehr oder weniger grossen Mengen herausdiffundieren, und das gilt besonders für Helium, so dass dafür zweifellos die aus der Folie gewonnenen Werte, wo nach den Testversuchen keine Diffusion stattfindet, weit zuverlässiger sind. Auch bei Meteoriten sind häufig wie beim Mondstaub in der Oberflächenschicht Gase zu finden, die man als alten Sonnenwind deuten kann. Das Helium-Neon-Verhältnis stimmt dabei gut mit den Folienwerten überein, also offensichtlich sind hier die Diffusionsverluste geringer. Man kann das auch verstehen, die Meteoriten waren vielleicht lange weiter weg von der Sonne und wurden weniger erwärmt als der Mondstaub. Überraschend ist hingegen, dass das Verhältnis der Heliumisotope 3 und 4 in beiden Fällen fast um einen Faktor 2 differiert. Man könnte fragen, ob etwa auf der Sonne eine langzeitliche Helium-3-Veränderung vor sich geht. Auch dieser Befund ist bisher noch keineswegs geklärt.

Nach all diesen Berichten haben wir zweifellos doch recht deutlich gesehen, dass die Apollo-Flüge im allgemeinen und das Folienexperiment im speziellen recht schöne Ergebnisse gebracht haben, erwartete und unerwartete, manche Frage ist der Lösung näher gekommen, andere Fragen tauchten auf. So wird man auch weitere Mondflüge für wichtig und lohnenswert ansehen und sie mit Spannung erhoffen.

Herrn Prof. Dr. JOHANNES GEISS danken wir für die Durchsicht des Berichtes und für die freundliche Überlassung der Bilder.

*Adresse des Verfassers:* Prof. Dr. HELMUT MÜLLER, Herzogenmühlestrasse 4, 8051 Zürich.