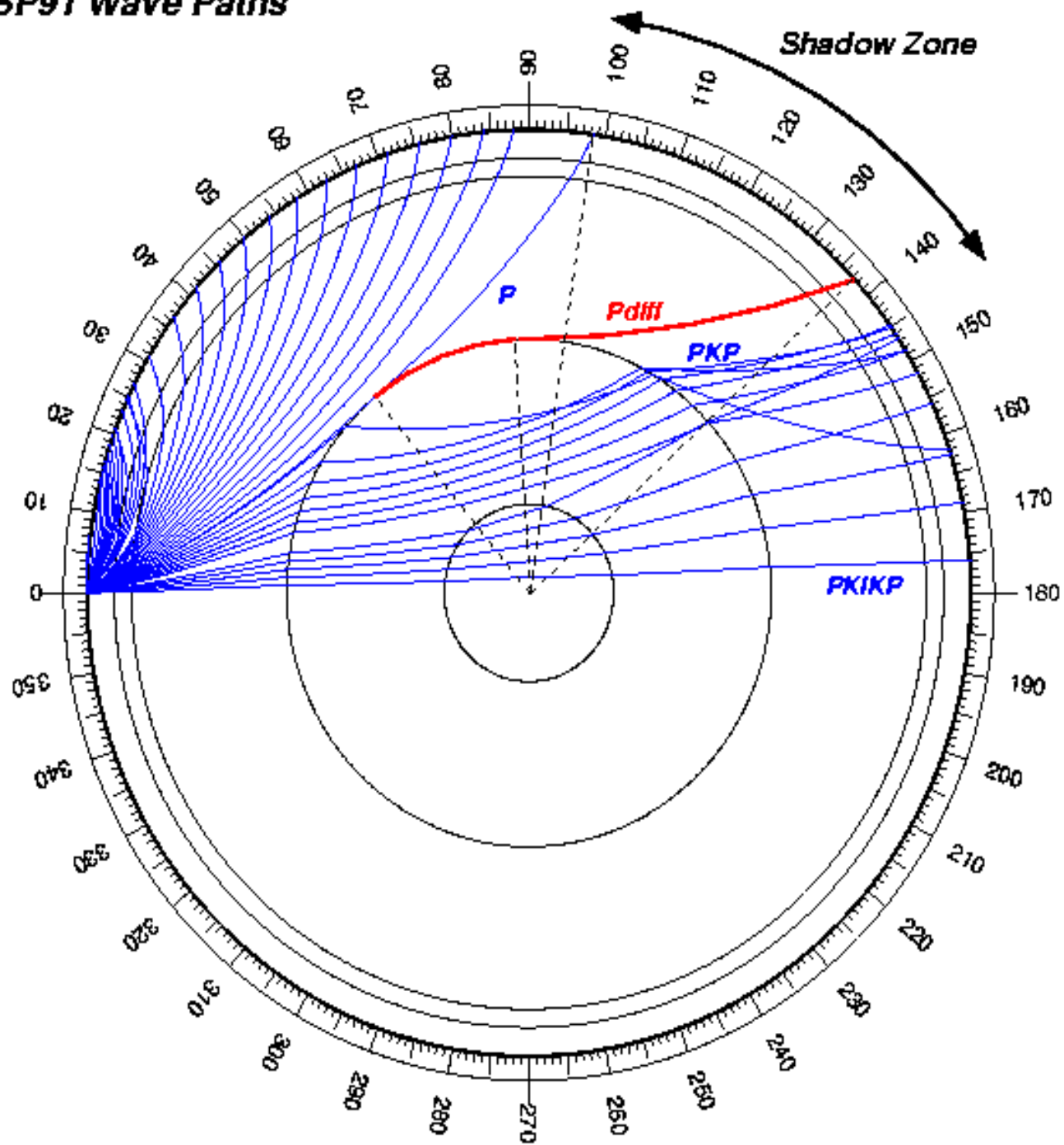
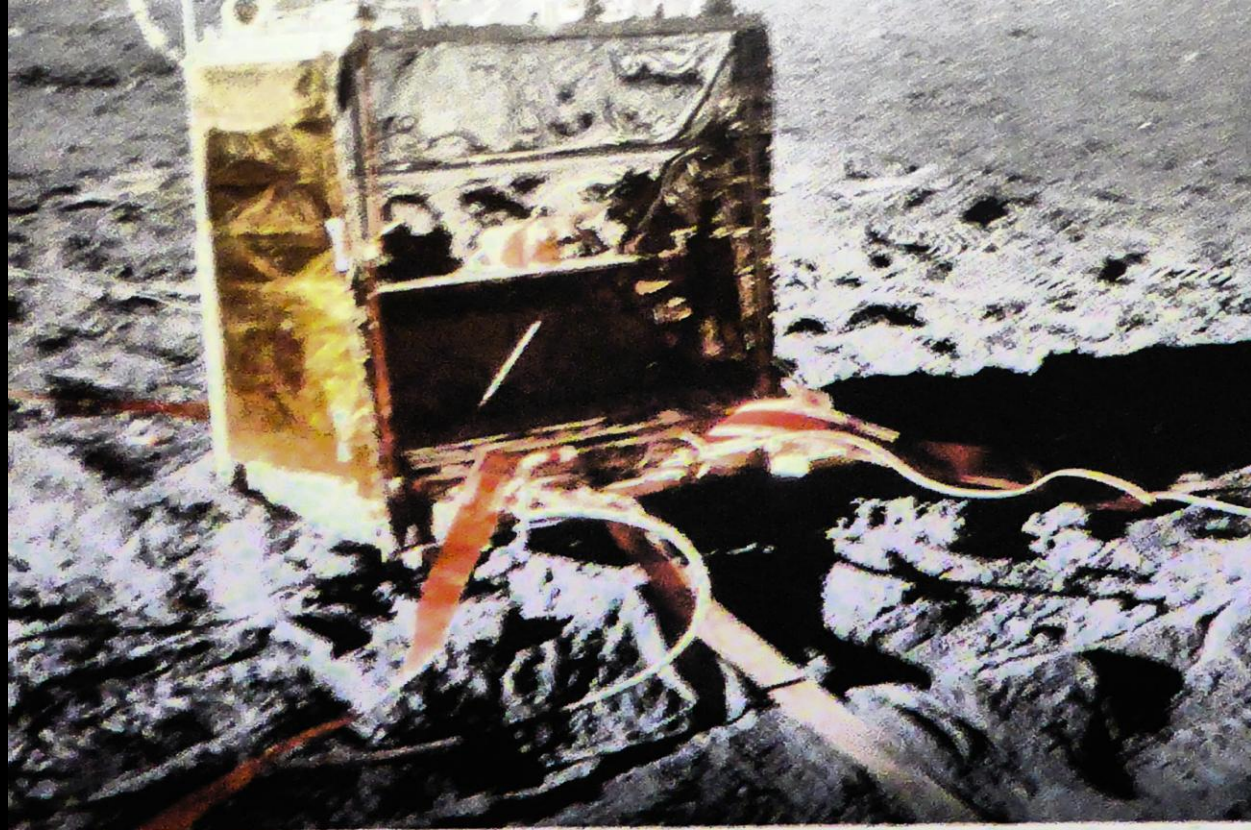


IASP91 Wave Paths

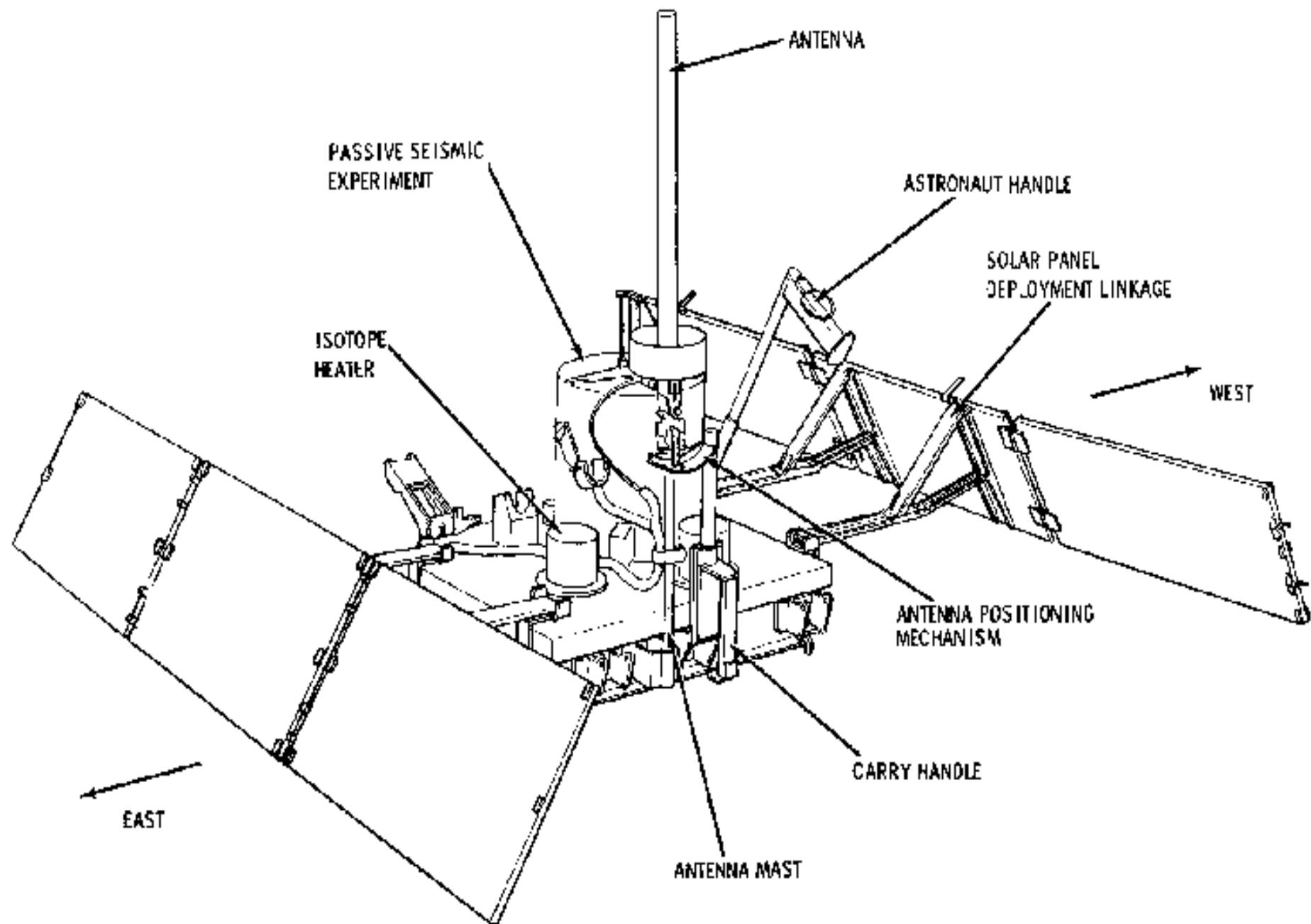




er über tau-
lie zerfurchte
use, sagte er
ung", sondern
experimenten

Bei allen Apollo-Missionen spielten die physikalischen Experimente, vor allem die Seismometer zur Messung von Mondbeben, eine wichtige Rolle. Das dazu verwendete Instrumentarium war das Apollo Lunar Surface Experiment Package, ALSEP, das mit Plutonium-Batterien betrieben wurde (Bildmitte).

Passive seismic experiment (ALSEP)



ist das der Mare reichen an
den beiden Polen gibt kein
Mond gegeben hat.

Die Kruste des Mondes ist
Plagioklas, das auch in de
ere Dicke der Mondkruste betr
ger als die durchschnittliche K
Kruste deutlich dicker (etwa

Seismisch lässt sich die Mondkruste aus Anorthosit (mittlere Gesteinsdichte $2,9 \text{ g/cm}^3$) auf der Mondvorderseite in einer durchschnittlichen Tiefe von 60 km gegen den Mantel abgrenzen. Auf der Rückseite reicht sie vermutlich bis in 150 km Tiefe. Die größere Mächtigkeit der Kruste und damit der erhöhte Anteil relativ leichten feldspatreichen Krustengesteins auf der erdabgewandten Seite könnte zumindest teilweise dafür verantwortlich sein, dass das Massezentrum des Mondes etwa 2 km näher an der Erde liegt als sein geometrischer Mittelpunkt. Unterhalb der Kruste schließt sich ein fast vollständig fester Mantel aus mafischem und ultramafischem Gestein (Olivin- und Pyroxenreiche Kumulate) an. Zwischen Mantel und Kruste wird eine dünne Schicht basaltischer Zusammensetzung vermutet, die bei der Auskristallisierung der anderen beiden Gesteinshüllen mit inkompatiblen Elementen angereichert wurde und daher einen hohen Anteil an Kalium, Rare Earth Elements (dt. Seltene Erden) und Phosphor aufweist. Diese spezielle chemische Signatur, die sich auch durch hohe Konzentrationen von Uran und Thorium auszeichnet, wird KREEP genannt. Nach traditionellen Hypothesen tritt diese sogenannte Ur-KREEP-Schicht gleichmäßig verteilt unterhalb der Mondkruste auf. Neueren, aus Daten der Lunar-Prospector-Sonde gewonnenen Erkenntnissen zufolge scheint sich KREEP aber schon während der Ausdifferenzierung von Kruste und Mantel vorwiegend in der Kruste der heutigen Oceanus-Procellarum-Mare-Imbrium-Region angereichert zu haben. Die Wärmeproduktion durch die radioaktiven Elemente wird für den vermuteten „jungen“ Vulkanismus in dieser Mondregion (bis 1,2 Milliarden Jahre vor heute)[14] verantwortlich gemacht.[15]

Die seismische Erkundung des Mondes erbrachte Hinweise auf Unstetigkeitsflächen (Diskontinuitäten) in 270 und 500 km Tiefe, die als Grenzflächen verschieden zusammengesetzter

Gesteinshüllen bezeichnet werden können. Die Grenzflächen scheinen oberem und mittlerem

Plagioklas [1, 3, 4]

Plagioklase stellen eine Mischungsreihe zwischen Albit ($\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$) und Anorthit ($\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$) dar, s. Tab. S.40. Die mit eigenen Namen belegten Zwischenglieder (Oligoklas, Andesin, Labradorit und Bytownit) werden neuerdings nach dem %-Gehalt an Albit- (= Ab) und Anorthitanteil (= An) bezeichnet, z. B. $\text{Ab}_{32}\text{An}_{68}$ = Labradorit.



Chemie: $n\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8] + n\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$

Mohshärte: 6–6½

Dichte: 2,61–2,77

Spaltbarkeit: vollkommen

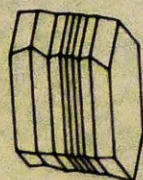
Bruch: muschlig, uneben, spröde

Farbe: farblos, weiß, grau, grünlich, bläulich, rötlich, z. T. Farbenschiller (Labradoresieren)

Strichfarbe: weiß

Glanz: Glas-, Perlmutterglanz

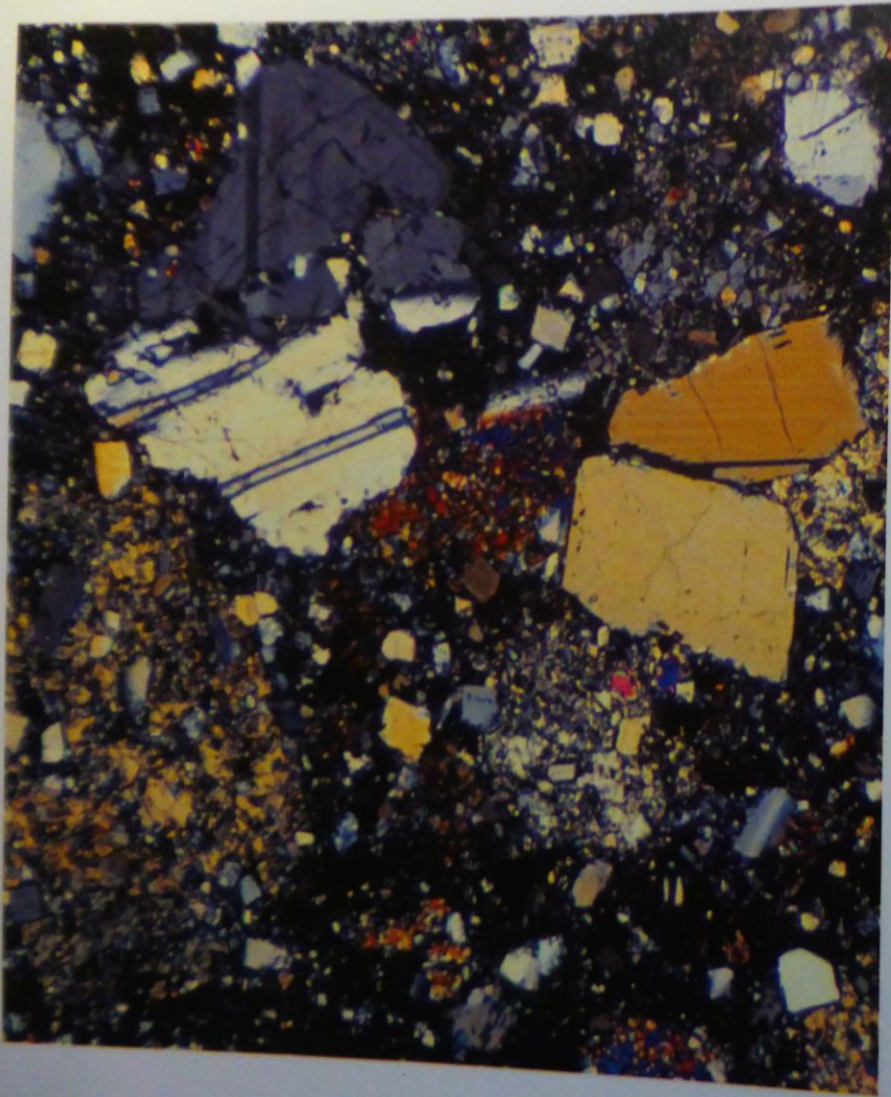
Transparenz: durchscheinend bis undurchsichtig



Einzelkristalle (triklines System) selten, taflig, prismatisch, in der Regel Zwillingslamellierung. Aggregate dicht, körnig. Vorkommen überwiegend in Magmatiten und Metamorphiten. Fundorte weltweit. Keine technische Verwendung. Labradorit (Labradorstein, Labrador [3]) Dekorstein, die Varietät Sonnenstein gelegentlich Schmuckstein [Nr. 10, S. 171].

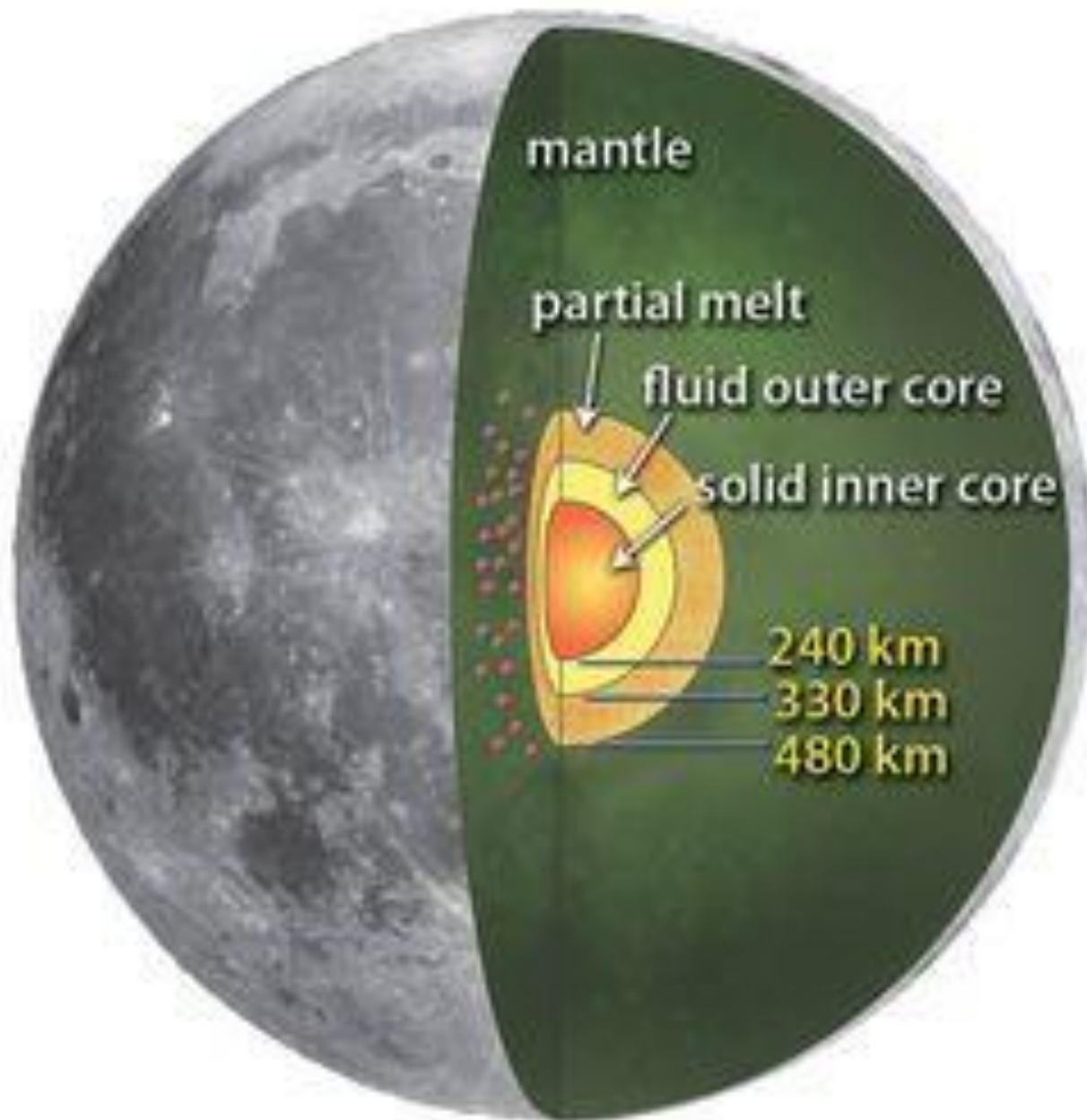
Foide Feldspatoide, Feldspatvertreter

In kieselsäureärmeren Gesteinen treten an Stelle der Feldspäte kieselsäurearme Mineralien. Sie werden als Feldspatvertreter, Feldspatoide oder kurz als Foide bezeichnet. Dazu gehören Leucit, Analcim, Nephelin, Sodalith, Nosean, Hauyn, Melilith u. a. In ihrer Gesellschaft kann niemals Quarz auftreten.



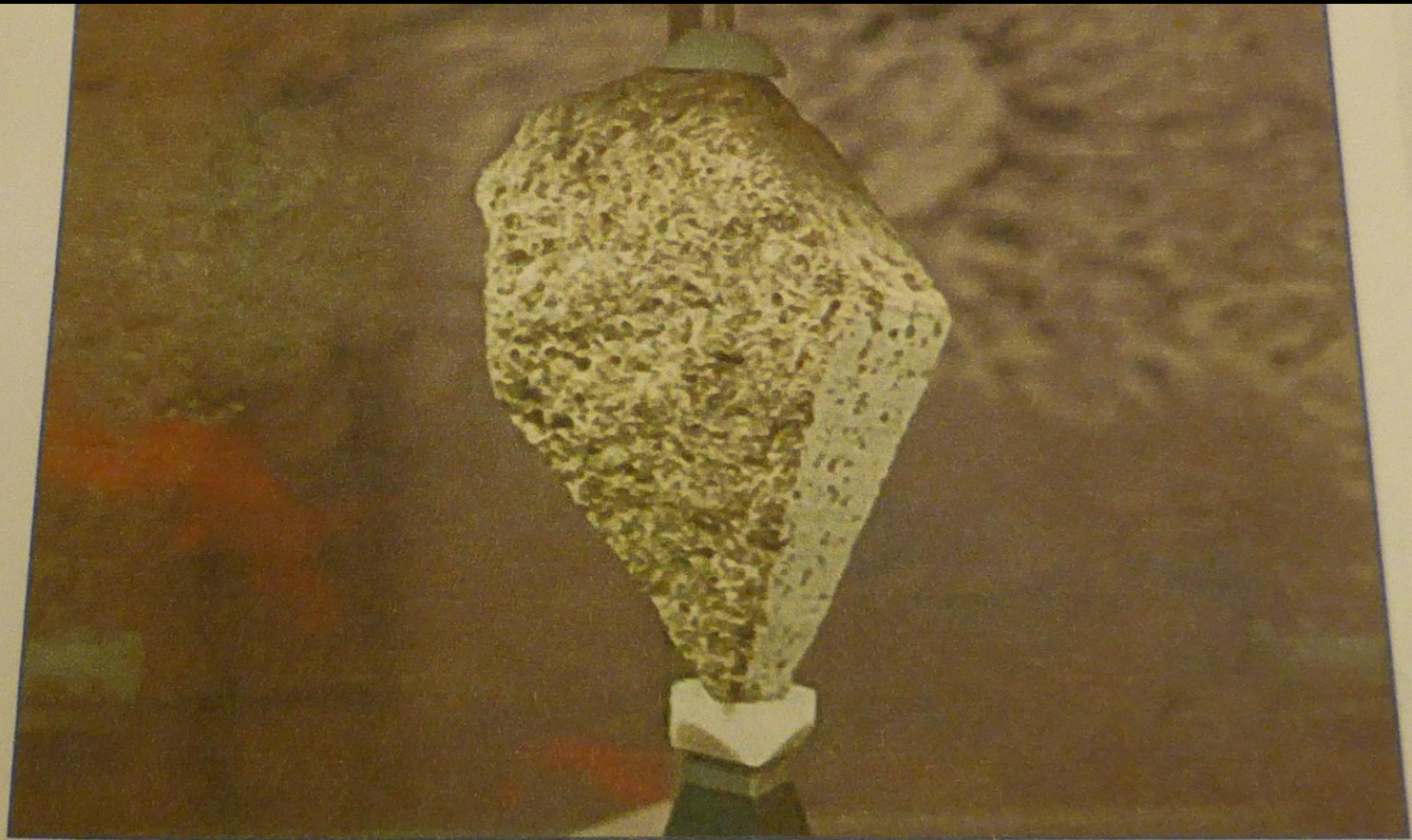
Gesteine der Erde wie auch vom Mond werden von den Mineralogen hinsichtlich ihrer Struktur und Zusammensetzung häufig in lichtdurchlässigen, zu nur wenigen Mikrometern dünn geschliffenen Scheibchen analysiert. Bei Betrachtung mit polarisiertem Licht zeigen die Kristalle charakteristische Eigenschaften, wie dieser Dünnschliff einer Apollo 16-Probe einer Impaktschmelze aus dem Hochland, in der einzelne Mineraltrümmer in einer Matrix aus feinkörnigen Felspäten eingebettet sind.

Wann der Mensch auf den Mond zurückkehrt, ist nur eine Frage der Zeit. Das wird in nicht allzu ferner Zukunft geschehen.



chimotzenes Material vermutet.

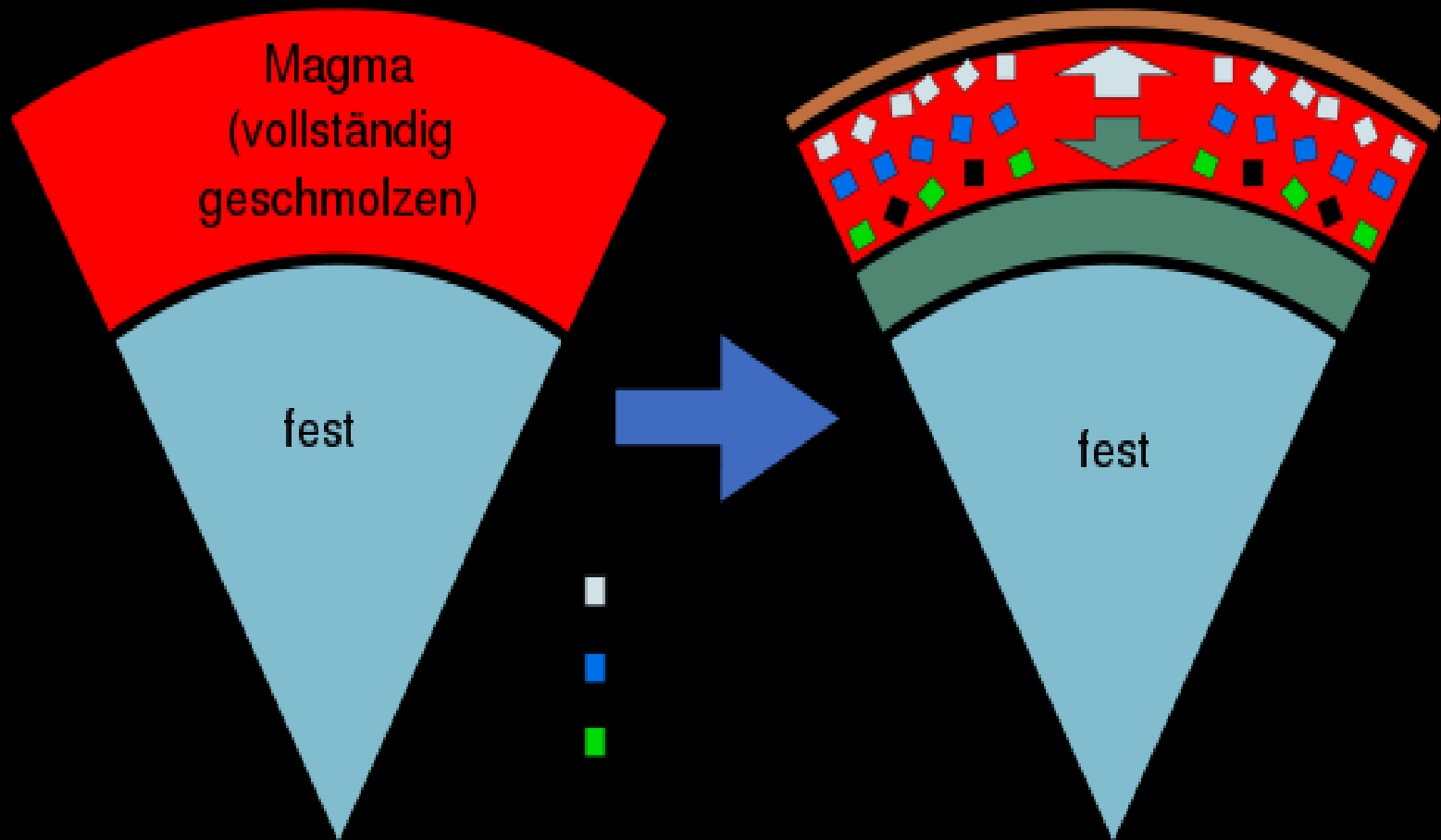
Mantel besteht überwiegend aus Mineralien Olivin und Pyroxene. gemessenen seismischen Wellen, den Mond durchlaufen haben, en, dass der Mondmantel gleichsweise kühl und weitgehend v e von 500 km bleibt die Temperatur den Magnetometer-Daten schließt



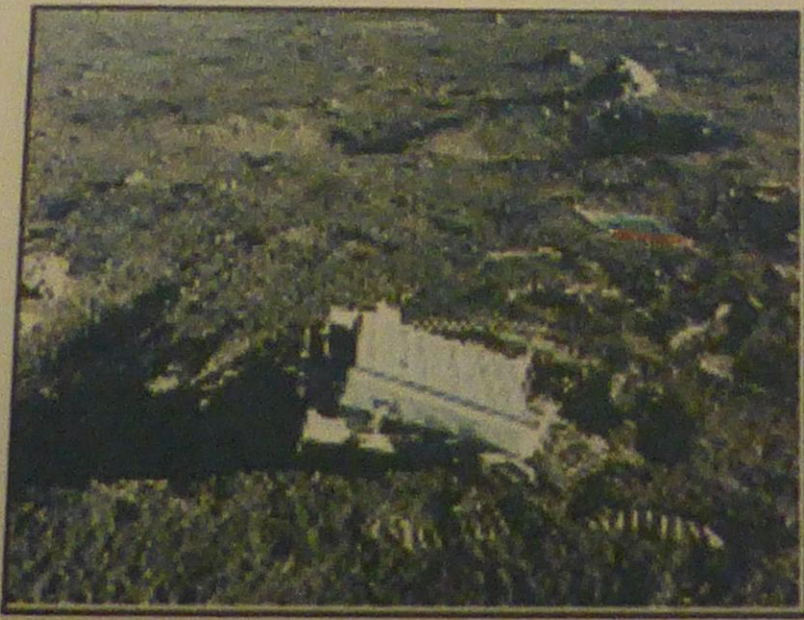
Olivine basalt collected by Apollo 15.

Having a mean density of $3,346.4 \text{ kg/m}^3$, [1] the Moon is a geochemically distinct crust, mantle, and core. This structure is the result of fractional crystallization of a magma ocean shortly after its

Übergang Mantel-Kern



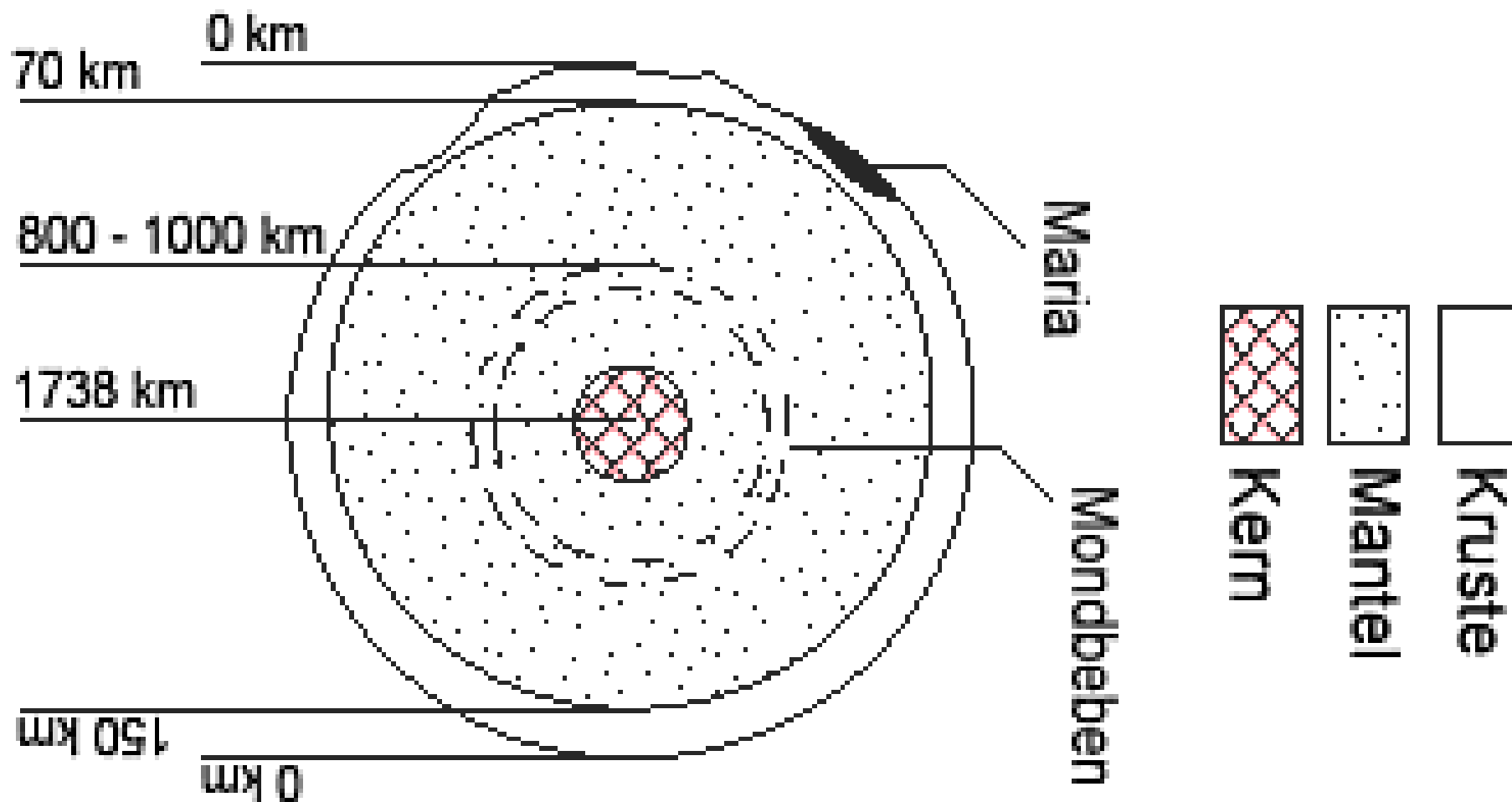
Eisen/Schwefel-Kern mit weniger als 350 km Radius. Dies ergibt sich aus den Daten der Apollo-Missionen und der neueren Prospector-Mission. Unklar ist, ob er im Zentrum aus flüssigem Material besteht. Heiße Materieströme wie im Erdkern, die ein Magnetfeld erzeugen, scheint es keine zu geben, da der Mond kein globales Magnetfeld besitzt.



🔍 Laser-Reflektor

Größe und Zusammensetzung des Mondkerns sind bislang noch nicht sicher geklärt. Als Hauptbestandteile des Mondkerns werden Eisen und Schwefel vermutet. Sein Radius höchstens 350 km betragen. Man schließt dies aus den Daten der Reflektionsexperiments.

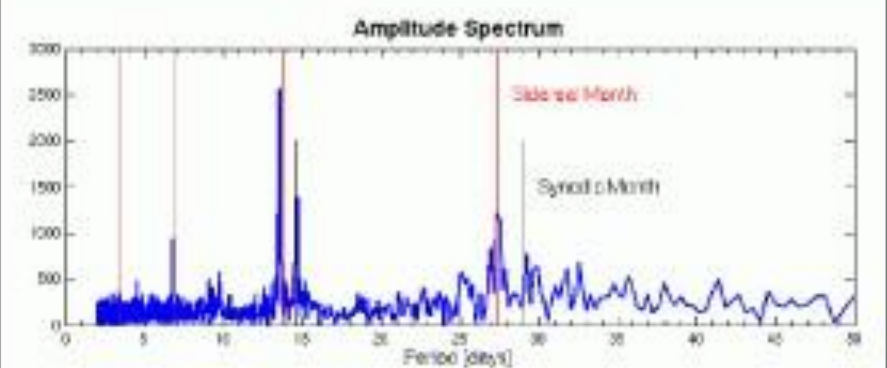
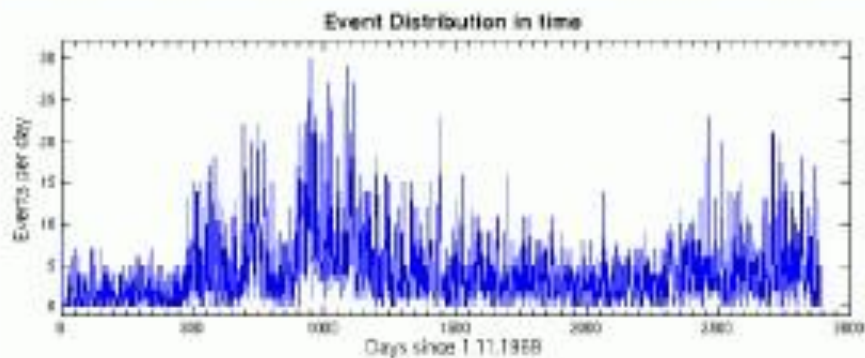
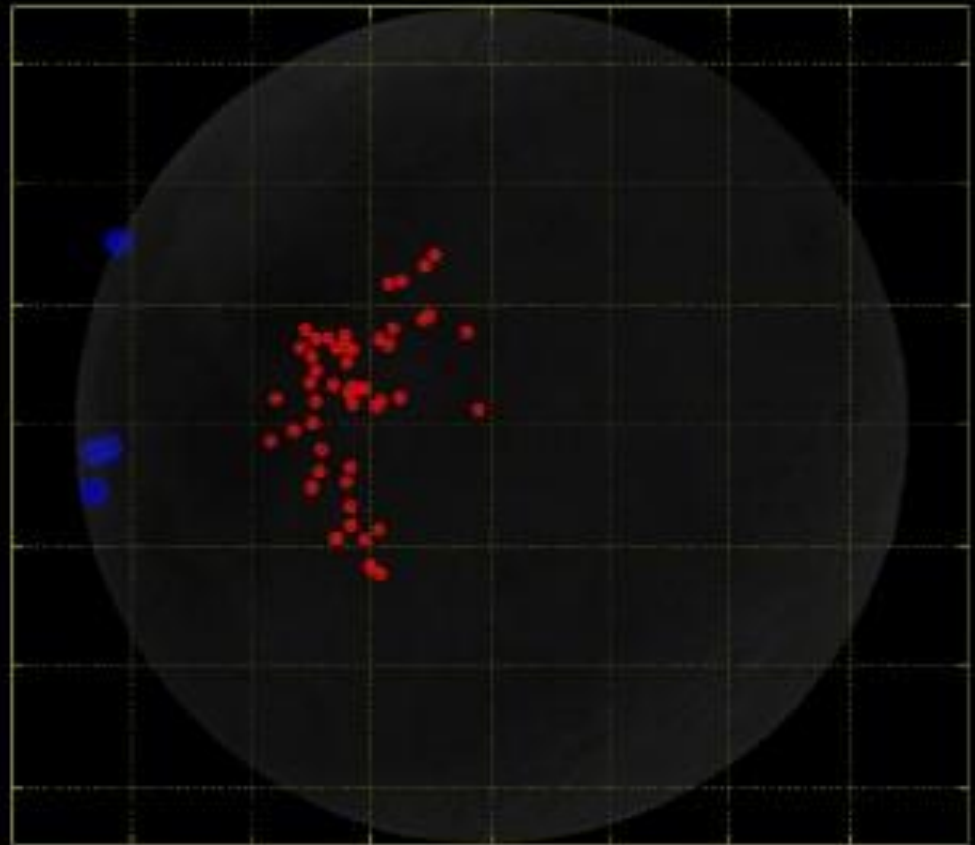
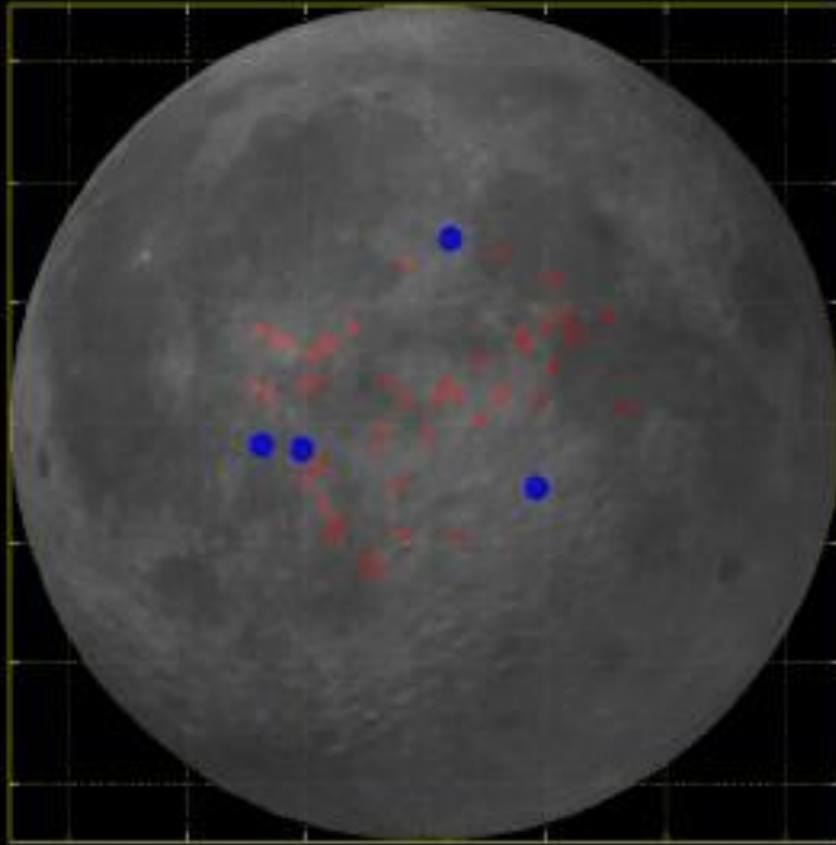
Oben: Erdzugewandte Seite



auch die meisten der registrierten Mondbeben. Erdbeben entstehen in weitaus geringeren Tiefen von nur etwa 100 km. Auch gibt es bevorzugte Zonen im Innern des Mondes für die Entstehung von Beben. Die meisten Tiefenbeben ereigneten sich an etwa 100 bestimmten Stellen von wenigen Kilometern Durchmesser.

Die Beben treten dabei in halbmonatlichem, also 14tägigem Abstand auf. Auch sind sie am häufigsten, wenn sich der Mond entweder sehr nahe (**Perigäum**) oder sehr entfernt (**Apogäum**) von der Erde befindet. Ursache dafür sind offenbar die Schwankungen der Gezeitenkräfte der Erde auf den Mond. Der Mondkörper hat sich wahrscheinlich an eine mittlere Gezeitenkraft angepasst. Bei kleineren oder größeren Kräften wirkt das Gestein auf Grund innerer Spannungen gegeneinander, was dann zu den Mondbeben führt.

Mondbeben sind generell sehr schwach. Auf der Richter-Skala erreichen sie kaum die Stärke 2. Selbst wenn man direkt über dem Zentrum eines Mondbebens stünde, würde man es nicht spüren. Verglichen mit dem Mond wird auf der Erde innerhalb eines Jahres etwa 10 Milliarden mal mehr Energie durch Beben freigesetzt.



Was den Puls aller auf einmal höher schlagen ließ, war ein Ausruf von Jack Schmitt: *Hoppla – warte mal: Hier ist der Boden orangefarben! Überall! Ich hab's mit den Füßen freigekratzt.* Tatsächlich zeigte der Boden in einem weiteren Umkreis an mehreren Stellen orange gefärbten Regolith. Schmitt und Cernan waren fast außer sich und begannen enthusiastisch Fotos zu machen, Proben zu sammeln, Furchen zu ziehen und in den Boden zu bohren. Auch am unteren Ende der Bohrprobe war im schwarzgrauen Regolith deutlich eine Färbung zu sehen. Es handelte sich um titanreiches vulkanisches Glas, das bei Vulkanausbrüchen in Feuerfontänen über die Oberfläche gesprüht worden war. Weil bei diesem Vorgang die Lava in kürzester Zeit um mehrere hundert Grad abkühlt, kann sich keine Kristallstruktur bilden. Das geschmolzene Material erstarrt zu Glas. Ein hoher Anteil an Ilmenit, einem Titanoxid, verleiht den millimetergroßen Glaströpfchen ihre orange Färbung. Legt man Partikel auf eine Glasplatte und beleuchtet diese von unten, so scheint das Licht durch die Partikel hindurch. Im Lauf von Jahrmillionen jedoch rekristallisiert das Glas, es wird schwarz und undurchsichtig wie die vulkanische Asche der Umgebung.

Neu war diese Entdeckung vulkanischen Glases auf dem Mond nicht. Schon an der Apollo 15-Landestelle waren Scott und Irwin auf farbige vulkanische Glasasche gestoßen, dort waren die Teilchen allerdings smaragdgrün. Im Labor zeigte sich später, dass ein hoher Anteil an Magnesium für diese grüne Färbung bei Apollo 15 verantwortlich war. In ihrer chemischen Zusammensetzung unter-

bedorfen! Über-
diesem Ausruf
kann Schmitt
rasche Ablage-
sen über die
orange gefärb-
Jahre alt.

atte lag
Auf den
Erwar-
te Pro-
Meter
rissen
angen
onen
eines
smi-
ten,
aum
zei-
or.



11/DEZ/2016

Diese orangefarbene Vulkanasche war also die Sensation der Apollo 17-Mission, ein krönender Abschluss des mit fast 20 Kilometern längsten Ausflugs auf der Mondoberfläche. In Houston war man begeistert. Die letzte EVA am dritten Tag brachte zusätzlich eine Fülle an aufregenden Beobachtungen und vielerlei unterschiedliche Proben mit Gesteinskomponenten aller Art. An den „Sculptured Hills“ schlug Schmitt mit dem Hammer ein plutonisches Gestein auf, dessen Mineralogie ihm sofort ein: *Junge, sieht der schön aus!* entlockte. Der Brocken war als Magma in der Tiefe erstarrt und wurde vermutlich durch einen Asteroideneinschlag nach oben verfrachtet. Im Labor wurde die Probe als Norit klassifiziert, ein magnesiumreiches Tiefengestein, das sich – darauf deutet das hohe Alter von 4,34 Milliarden Jahre hin – vermutlich tief im frühen Magmaozean des Mondes gebildet hatte.

Abrupt bremste Mission Control Houston den Tatendrang der beiden Feldgeologen mit dem Befehl, rasch zum Ende zu kommen, die Mondfähre anzu- steuern und sich für den Rückflug fertig zu machen. Ein Sonnensturm kündigte sich an, dessen energiegeladenen Partikeln man die Astronauten nicht über Gebühr aussetzen wollte, um ihre Gesundheit nicht zu gefährden. Schmitt und Cernan verstauten die Filmmagazine und die 110 Kilogramm an Proben. Danach

ihres zähen, sperrigen und verfilzten Gefüges für hochbeanspruchten Bahnschotter. Gut polierbare Gabbros als Grabstein und für Fassadenverblendungen.

Norit [Nr. 3, S. 221]

Dunkelgraue Gabbro-Varietät mit Hypersthen als dunklem Gemengteil. Makroskopisch gelegentlich an den Bronzetönen einiger Pyroxene zu erkennen, sonst vom normalen Gabbro nicht zu unterscheiden.

Fundorte: Norwegen, Transvaal/Südafrika, Montana/USA. Die bedeutenden Nickel-Lagerstätten von Sudbury/Kanada sind an Norite gebunden.

Troktolith [1] Forellenstein

Seltene Gabbro-Varietät mit hellem Plagioklas und Olivin als dunklem Gemengteil. Die fleckenartig auftretenden Olivine sind grün oder als serpentinierte Umwandlungsprodukte gelb, bräunlich, rötlich und schwarz.

Fundorte: Harz, Schlesien/Polen, Oklahoma und Montana/USA.

Anorthosit [Nr. 4, S. 221]

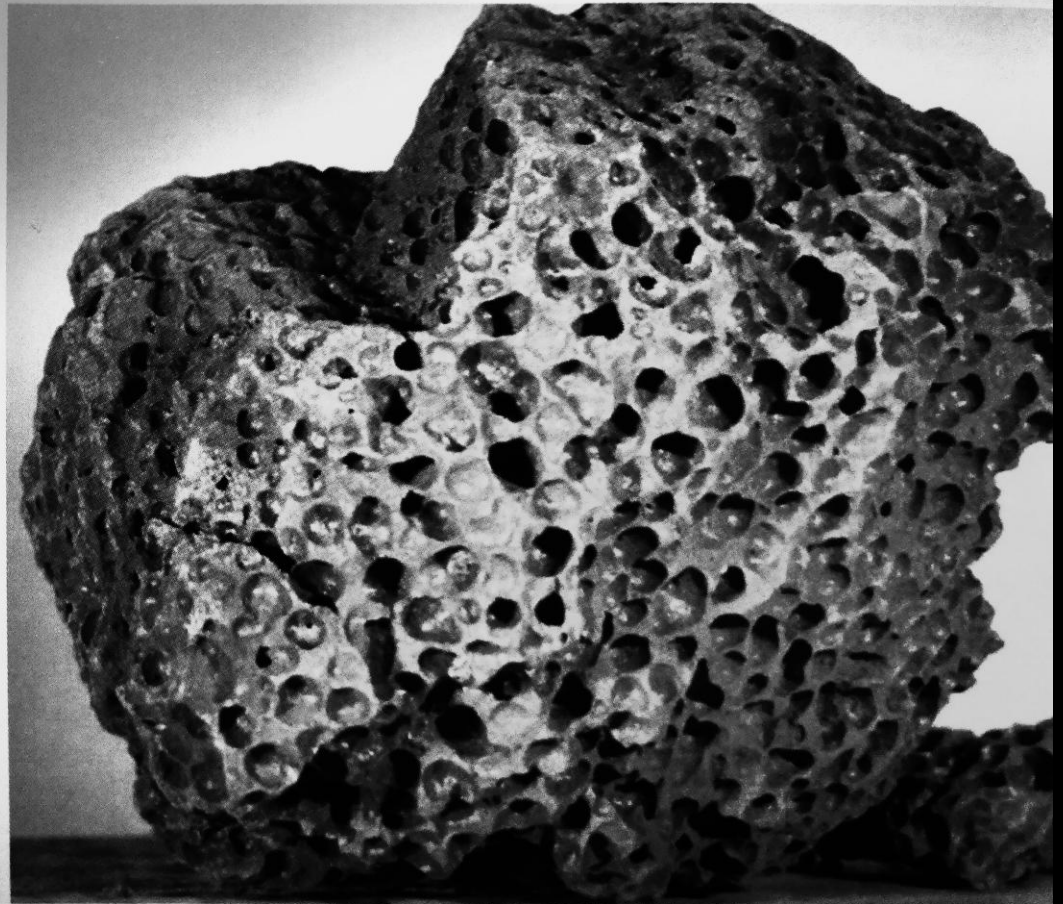
Hellgraue bis fast schwarze Gabbro-Varietät aus Plagioklas und einem Mafitanteil unter 10%. Nebengemengteile sind Pyroxene, Olivin, Magnetit und Ilmenit. Fundorte: Norwegen, Ukraine/UdSSR, Labrador und Quebec/Kanada, Montana und New York/USA, Transvaal/Südafrika, Angola, Brasilien.

SPEKTROLITH [Nr. 4, S. 221] Handelsname einer Anorthosit-Varietät aus Finnland mit labradorisierendem Feldspat. Für Dekorzwecke und als Modeschmuck.

Essexit [2]

Essexit gehört zur Diorit/Gabbro-Familie. Name nach Fundort in USA.

Die vulkanischen Gesteine des Mondes, wie dieser blasige Basalt, haben eine geringere mineralogische Bandbreite als irdische Vulkanite, dennoch gibt es zahlreiche Variationen, die zeigen, dass sich im Mondmantel komplexe Prozesse abgespielt haben.



Ende des Vulkanismus eingrenzt. Vermutlich aber begar
Magmen schon sehr früh, vielleicht vor 4,2 oder sogar

scheiden sich weder die orange gefärbten noch die grünen Gläser von herkömmlichen Basalten. Es ist die Art, wie die basaltischen Produkte abkühlen und über die Oberfläche verteilt werden, die den Unterschied im Erscheinungsbild ausmacht. Durch einen höheren Gasanteil im Magma fließen diese Laven nicht einfach wie zäher Brei aus Spalten an der Oberfläche. Das Gas dehnt sich vielmehr wegen des beim Aufstieg durch die Mondkruste immer geringer werdenden Gesteinsdruckes der Umgebung rasch aus, kühlt schnell ab und sorgt für eine explosive Verteilung des Magmas. Die chemische Analyse der Glasasche erbrachte den Nachweis von Blei, Zink und Chlor an der Oberfläche der Gläser, Elemente, die im Zusammenhang von Vulkanismus eher „flüchtigen“ Charakter haben. Der „Treibsatz“ für die explosiven Vulkanausbrüche auf dem Mond dürfte Kohlenmonoxid gewesen sein. Nach den aus Laborexperimenten abgeleiteten Modellen der Petrologen scheinen diese Schmelzen aus bis zu 400 Kilometer tiefen Regionen im Mantel des Mondes zu stammen. Offensichtlich haben sich die Gläser in ihrer ursprünglichen Mineralogie durch den raschen Aufstieg durch die Kruste kaum verändert. Wahrscheinlich spiegeln sie genau die chemische Zusammensetzung ihrer Quellregion, also des oberen Mondmantels, wider. Das ist ein Glücksfall für die Wissenschaft, denn die Gläser sind wichtige Proben aus dem Inneren des Mondes. Sie spielen damit eine bedeutende Rolle bei dem Versuch, die Bestandteile zu bestimmen, aus denen der Mond insgesamt besteht. Im Jahr 2008 fanden Forscher an der amerikanischen Brown University mit neuen Analyseverfahren

Während Gene Cernan
Abstand zur Mondfahr
ladungen für das aktiv
ment und die Empfang
der von den Detonation
den Bebenwellen, die G
der Oberfläche auslegt
Jack Schmitt diesen sp
Geophone Rock getauft
magmatisches Tiefenge

Ralf Jaumann | Ulrich Köhler

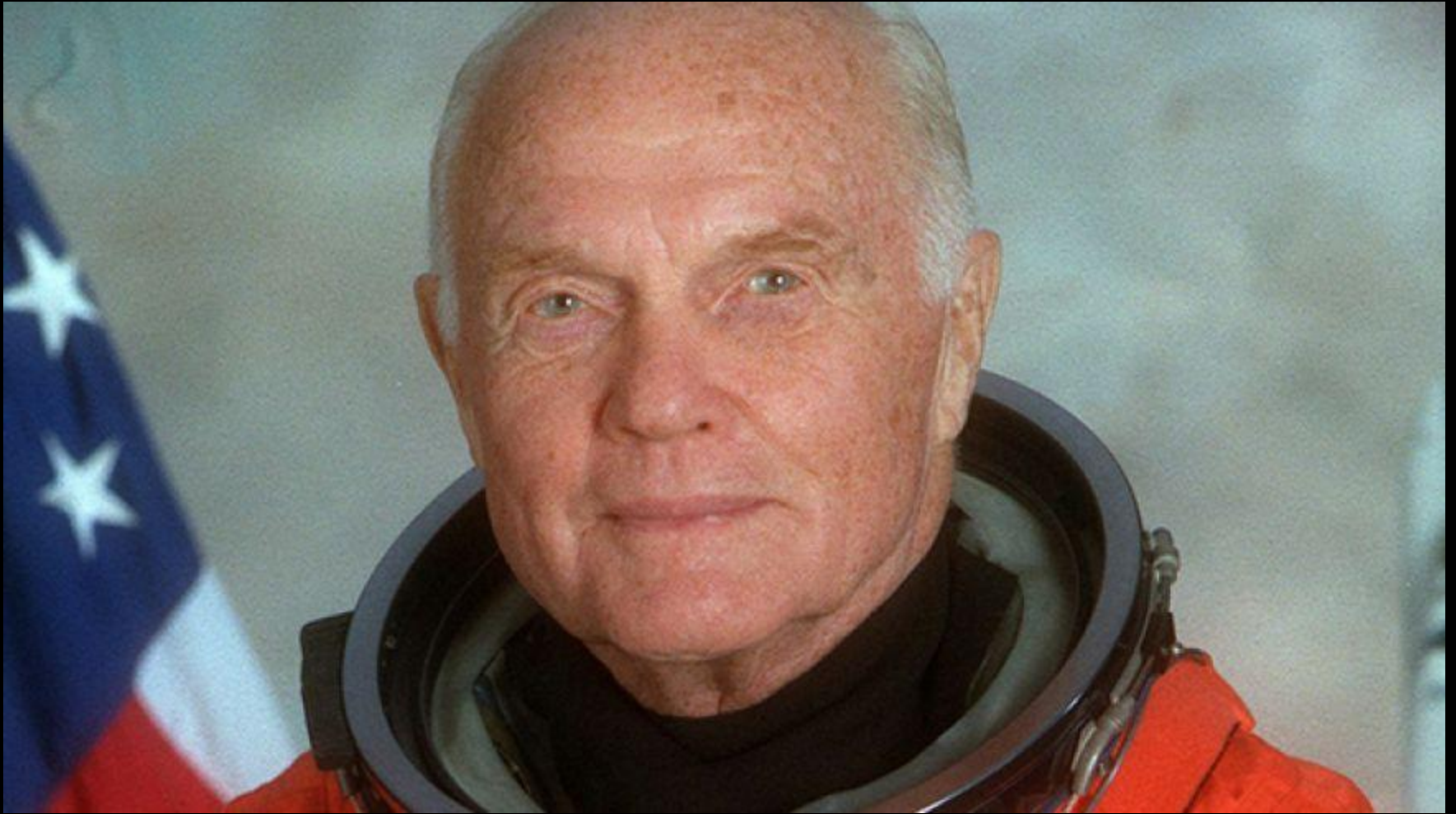
DER MOND

- Entstehung
- Erforschung
- Raumfahrt



11/DEZ/2016

John Glenn



Buzz Aldrin hat mit 86 am 3.12. als ältester Mensch den Südpol erreicht!



Robert Reeves, Hipparchus

