Komplexe mineralogische Untersuchungen am Luna-16 -, Luna-20 - und Luna-24 - Regolith"

Heiner Vollstädt, Seddin

Richard Wäsch, Berlin

Mondproben – Untersuchungen
Darstellungen in der Presse

Außerirdischer Schatz in Potsdamer Safe

„BNN" sprachen auf dem Telegrafenberg mit den Hütern sowjetischen Mondgesteins

Potsdam (BNN). Seit Donnerstag ruht im Safe des Zentralinstituts „Physik der Erde" auf dem Potsdamer Telegrafenberg ein außerirdischer Schatz im Wert von einer dreiviertel Million Mark — ein halbes Gramm Mondgestein, das noch in einer Kapsel verschlossen ist.

Auf einer Sitzung in Moskau der Interkosmosforschung wurde der Mondbasalt an Dr. Stubenrauch, Staatssekretär im Ministerium für Wissenschaft und Technik, übergeben. Über den Präsidenten der Akademie der Wissenschaften, Professor Klare, kam das Gestein, das Luna 16 vom Erdtrabanten mitbrachte, in das Potsdamer Institut. Gegenüber den „BNN" erklärte Dr. Heiner Vollstädt, Leiter der Abteilung „Materie unter extremen Bedingungen", dazu: „Entsprechendes Material wurde bereits in der Sowjetunion analysiert. Wir wollen jetzt physikalische Messungen durchführen und sie mit Messungen an irdischen Basalten vergleichen, um daraus Rückschlüsse ziehen zu können. Wir werden dabei mit einigen anderen Instituten der DDR zusammenarbeiten, wie beispielsweise der Bergakademie Freiberg. Selbstverständlich wollen wir gute Ergebnisse erzielen, damit wir uns unseren sowjetischen Kollegen als leistungsstarker Partner empfehlen."

Doch letztlich hat die Überreichung des Mondgesteins nicht nur wissenschaftliche, sondern auch politische Bedeutung, denn was könnte besser die Zusammenarbeit mit der Sowjetunion dokumentieren, als diese Tatsache? Wünschen wir den Männern vom Zentralinstitut Erfolg in ihrer Arbeit, denn das könnte die Gewähr dafür sein, auch einmal größere Steine vom Mond nach Potsdam zu bekommen.

Wissenschaftler des Zentralinstitutes mit der Probe des Mondgesteins. V. r. n. l. Dr. Manfred Schneider, Stellv. Institutsdirektor; Prof. Dr. Heinz Stiller, Institutsdirektor, und unser Gesprächspartner Dr. Heiner Vollstädt.

Foto: ZB/Schneider

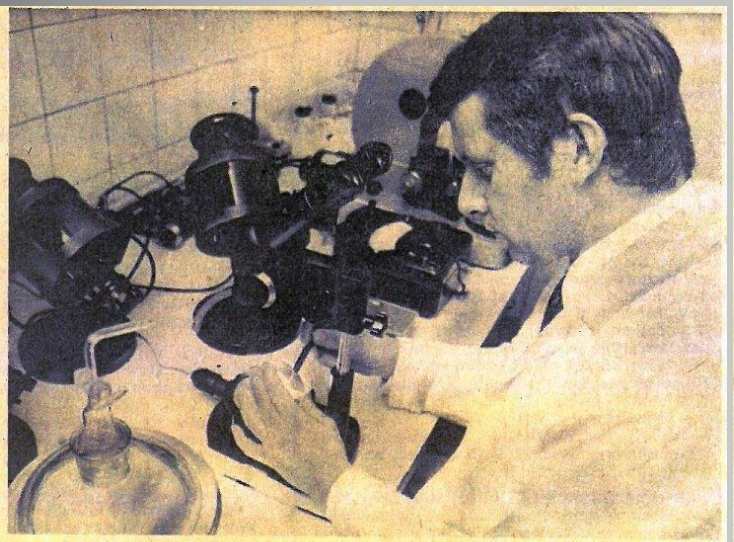
Mondproben – Untersuchungen
Darstellungen in der Presse

Mondboden „produziert"

Gelungener Laborversuch in der UdSSR

Moskau (ADN/Eig. Ber.) Die Herstellung von Mondgestein ist sowjetischen Wissenschaftlern im Labor gelungen, berichtet die „Sozialistitscheskaja Industrija". Das Material, das dem natürlichen Mondgestein Regolit völlig gleicht, wurde am Institut für Kosmosforschung der UdSSR synthetisiert. Es wurde in speziellen Laboranlagen unter „Mondbedingungen" gewonnen.

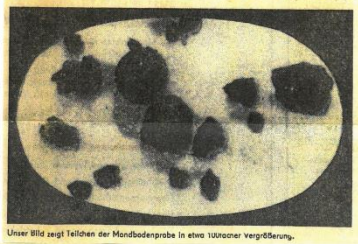
Ein Teil der Mondbodenprobe, die die sowjetische Station Luna 16 zur Erde gebracht hatte, wird gegenwärtig am Zentralinstitut für Physik der Erde in Potsdam (Bild) untersucht.



IM POTSDAMER „MONDLABOR": Dr. Heiner Vollstädt, Leiter der Forschungen. Foto: ZB

Noch der mikroskopischen Identifizierung des Mondstaubes werden alle wichtigen Einzelheiten durch Spezialaufnahmen fotografisch festgehalten. Dr. Heiner Vollstädt am Mikroskop.

Forschungsobjekt: EINE PROBE MONDBODEN



Unser Bild zeigt Teilchen der Mondbodenprobe in etwa 100facher Vergrößerung.

In der höllischen Hitze der Mondtage und der erstarrenden Kälte der luneren Nächte forscht das zweite mobile Mondlaboratorium. Mit Lunochod 2 setzt die Sowjetunion ihr langfristig angelegtes, äußerst effektives und erfolgreiches Programm zur Erkundung des Mondes mit Automaten fort. Lunochod 2 untersucht das Gebiet im Meer der Heiterkeit. Zur gleichen Zeit sind Wissenschaftler am Werk, Mondbodenproben aus dem Meer der Fruchtbarkeit umfassend zu erforschen. Sie wurden dazu in die Lage versetzt durch ein Ereignis, das über neue sowjetische Raumfahrterfolge beinahe schon in Vergessenheit geraten ist. Erinnern wir uns: Am 20. September 1970 entnahm der Landeapparat von Luna 16 nach einer Bohrung im Meer der Fruchtbarkeit vollautomatisch eine Bodenprobe, die 4 Tage später in einem Rückkehrcontainer zur Erde gelangte. Ein Teil dieses kostbaren Materials war bekanntlich von der Akademie der Wissenschaften der UdSSR an die Akademie der Wissenschaften der DDR und hier feierlich an Prof. Stiller, den Direktor des Zentralinstitutes für Physik der Erde, übergeben worden. Damit wurde eine neue Etappe in der Zusammenarbeit zwischen der UdSSR und der DDR im Rahmen des Interkosmos-Programms unserer sozialistischen Länder eingeleitet.

„MV"-Mitarbeiterin Rosi Pannhausen sprach mit Dr. Heiner Vollstädt und Dr. Richard Wösch, die im Zentralinstitut Physik der Erde der Akademie der Wissenschaften der DDR die experimentellen Untersuchungsarbeiten an der Mondbodenprobe leiten.

Frage: Was geschieht mit dem Material in Ihrem Institut?

Antwort: Die kostbare Probe aus der lockeren Monddecke ist Gegenstand komplexer mineralogisch-physikalischer Untersuchungen. Dafür haben wir ein umfassendes Forschungsprogramm erarbeitet, das den Einsatz verschiedener Verfahren und Methoden beinhaltet. Davon werden nicht alle in unserem Institut durchgeführt. Ein Teil des Materials haben wir an Einrichtungen weitergegeben, in denen für bestimmte Untersuchungsverfahren spezielle technische Möglichkeiten vorhanden sind, so z. B. an der Bergakademie Freiberg und an Akademieeinrichtungen in Berlin, Leipzig und Halle. Als Leitinstitut stehen wir mit ihnen in ständigen Konsultationen.

Alle gewonnenen Ergebnisse werden von uns gesammelt, um sie später insgesamt zu interpretieren, d. h. eine fundierte Aussage zu erarbeiten. Vorrang haben jedoch vor allem unsere eigenen Forschungen.

Temperaturen wie im Innern des Mondes

Schwerpunkte unserer Arbeit an der Mondbodenprobe sind z. B. mikroskopische und Röntgenstrukturuntersuchungen. An einer 600-Tonnen-Hochdruckpresse werden wir beispielsweise extreme Drücke und Temperaturen erzeugen können, wie sie im Innern des Mondes herrschen. Das Ziel besteht darin, Aussagen über die strukturelle Beschaffenheit des Materials und damit über die Beschaffenheit des Mondes zu treffen. Zur Zeit dauert vor allem die mikroskopische Identifizierung der staubförmigen Probe noch an. Unter dem Rasterelektronenmikroskop offenbaren sich uns in etwa 10 000facher Vergrößerung die kristallinen Formen und Strukturen der einzelnen Gesteinspartikel. Erst ein solches mikroskopisches „Durcharbeiten" des Materials gibt dann einen Gesamteindruck.

Frage: Was haben Sie bereits festgestellt?

Antwort: Bei den bisherigen Untersuchungen war für uns sehr auffallend der hohe Anteil kugeliger, glasiger Substanzen in unterschiedlicher Farbe. Die Ursachen dafür kann man so erklären: Auf den Mondboden treffen pausenlos Meteoriten mit riesiger Energie auf, da sie infolge des Fehlens einer Mondatmosphäre nicht gebremst werden. Die Energie setzt sich in Wärme um und schmilzt das Mondgestein. Das dabei hochgeschleuderte schmelzflüssige Material erstarrt teilweise während des freien Falls zu kugeligen Gebilden. Über Jahrmillionen haben sich so große Teile des Mondes in glasige Bestandteile verwandelt.

Mit Hilfe von Röntgenstrahlen wird versucht, Aussagen über die Struktur der einzelnen Bestandteile des Mondmaterials sowie deren Druckabhängigkeit zu erhalten. Dr. Richard Wösch beim Justieren der Röntgenkammer.

Fotos: MV/Mallwitz (2) | Vollstädt (1)

Partner der sowjetischen Wissenschaftler

Unsere ersten Ergebnisse über die Zusammensetzung und Verteilung dieser Arten von Teilchen des Mondgesteins bestätigen voll die bereits vorliegenden sowjetischen Untersuchungsresultate. Wir haben also bisher nichts spektakuläre Neues herausgefunden. Aber darum geht es in unserer Arbeit auch gar nicht. Sehen Sie, es ist bei wichtigen Forschungen immer notwendig, bestimmte Ergebnisse durch vergleichendes und ergänzendes Material zu fundieren. Wir sind stolz, daß wir bei diesen wichtigen Aufgaben Partner der sowjetischen Wissenschaftler sind. Wir konsultieren uns ständig. Vor allem mit dem bekannten sowjetischen Geochemiker Akademiemitglied Professor A. P. Winogradow. Erst kürzlich weilten z. B. Prof. Stiller und Dr. Wäch bei ihm in Moskau, um die ersten Erfahrungen auszutauschen und die weiteren Arbeiten zu koordinieren.

Frage: Welchen Nutzen sehen Sie in Ihren Forschungsarbeiten?

Antwort: Man muß dabei davon ausgehen, welche große Bedeutung die weitere Erforschung des Mondes — den die USA mit dem Abschluß des Apollo-Programms als Forschungsobjekt aktiver Raumfahrt vorerst aufgegeben haben — überhaupt hat. Es ist deshalb nicht verwunderlich, wenn die Sowjetunion mit Lunochod 2 bereits ihr 26. wissenschaftliches Mondunternehmen mittels Automaten begonnen hat. Denn die Wissenschaft ist sich darin einig: Der Mond kann Antwort geben auf grundsätzliche uns bewegende naturwissenschaftliche Fragen, so z. B.: Wie und wann entstanden und nach welchen Gesetzen entwickelten sich die Planeten unseres Sonnensystems? Deshalb hat die Untersuchung der geologisch-physikalischen Eigenschaften und der chemischen Zusammensetzung des Gesteins aus verschiedenen Gegenden des Mondes höchste Bedeutung.

Wie die Erde vor Millionen Jahren

Der Mond hat annähernd das Stadium konserviert, in dem sich die Erde in ihrer Entwicklung vor etwa 3000 Millionen Jahren, am Beginn ihrer geologischen Entwicklung, befand. Bei allen vorhandenen Unterschieden wie z. B. dem Fehlen einer Atmosphäre auf dem Mond und dem wahrscheinlich nicht vorhandenen Wasser stellt sich doch immer mehr heraus, daß vom Standpunkt der allgemeinen Struktur gewisse Ähnlichkeiten zwischen Erde und Mond vorhanden sind. Die Erforschung des Mondes — und mit der Vervollkommnung der Technik zunehmend vor allem seiner tieferen Schichten — wird deshalb helfen, auch die Geheimnisse der geologischen Entwicklung und des Aufbaus der Erde zu ergründen.

Unter diesen Aspekten ist die sowjetische Mondforschung zu sehen. Und unter diesen Aspekten sind auch unsere Untersuchungen an Gesteinsproben zu sehen, die wir in enger Kooperation mit den sowjetischen Wissenschaftlern durchführen. Ähnlich wie nach und nach verschiedene Gebiete des Mondes erkundet werden und sich so für die Beantwortung fundamentaler naturwissenschaftlicher Probleme Ergebnis an Ergebnis reiht, wird auch bei der Untersuchung der lunaren Bodenproben Teil für Teil eines schließlich aussagekräftigen Mosaiks zusammengetragen.

Durch unsere verantwortungsvolle Arbeit wollen wir DDR-Wissenschaftler der uns dabei übertragenen Aufgabe würdig erweisen.

Inhaltsübersicht

- Aufgabenstellung
- Geologie der Landeplätze
- Regolith der Stationen Luna 16, 20 und 24
- Experimentelle Untersuchungen
  - Klassifizierung der Hauptmineralien
  - Petrographie und Mineralogie der Gesteins- und Glasfragmente
  - Bestimmung der Haupt- und Spurenelemente im Regolith
  - Elektrische Eigenschaften des Regoliths

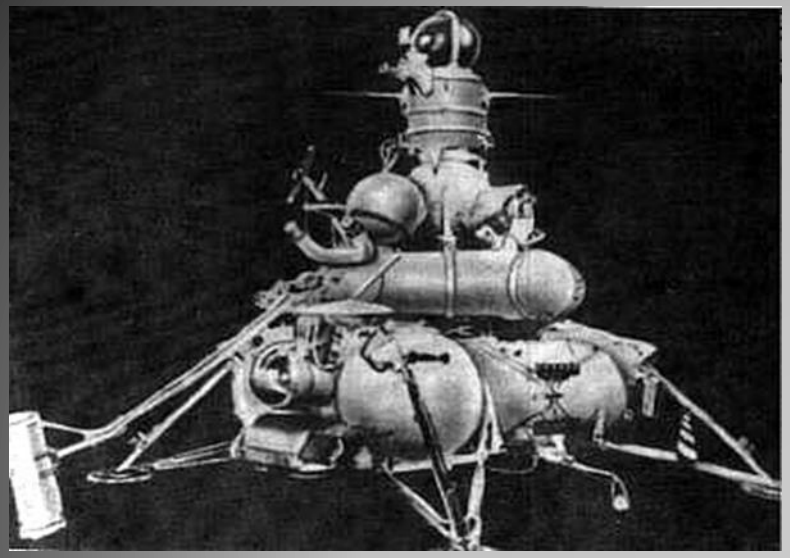
  Zusammenfassung der Messergebnisse

  Literatur

Mondlandeunternehmen der Sowjetunion, die Gesteinsmaterial bargen und zur Erde brachten

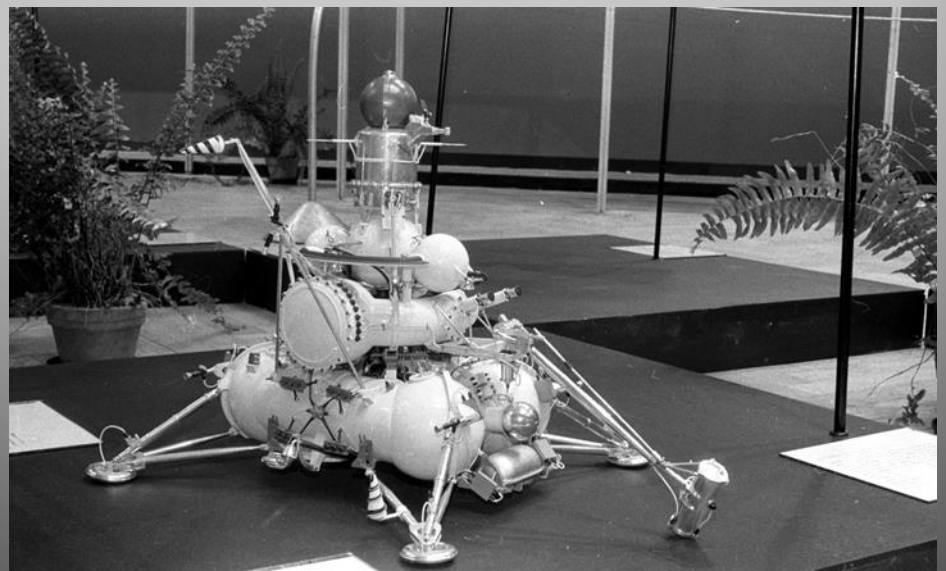
Mission	Zeitraum	Landegebiet	Materialmenge insgesamt	Materialmenge Anteil DDR
Luna 16	September 1970	0,7 S 56,3 E Mare Fecunditatis	120 g	500 mg
Luna 20	Februar 1972	3,5 N 56,6 E Krater Apollonius	60 g	500 mg
Luna 24	August 1976	12,5 N 62,1 E Mare Crisium	200 g	800 mg

Luna 16



Luna 20

Luna 24



An den Regolith – Untersuchungen beteiligte Forschungseinrichtungen

Akademie – Institute

Institut für Kosmosforschung, Berlin (Leiteinrichtung)

Zentralinstitut für Physik der Erde, Potsdam (bis 1982 Leiteinrichtung)

Zentralinstitut für Physikalische Chemie, Berlin

Zentralinstitut für Elektronenphysik, Berlin

Zentralinstitut für Isotopen- und Strahlenforschung, Leipzig

Institut für Elektronenmikroskopie, Halle

Universitäten und Hochschulen

Humboldt- Universität zu Berlin, Sektion Physik

Bergakademie Freiberg, Fachbereich Mineralogie/Geochemie

Karl-Marx- Universität Leipzig, Fachbereich Geophysik

Aufgabenstellung

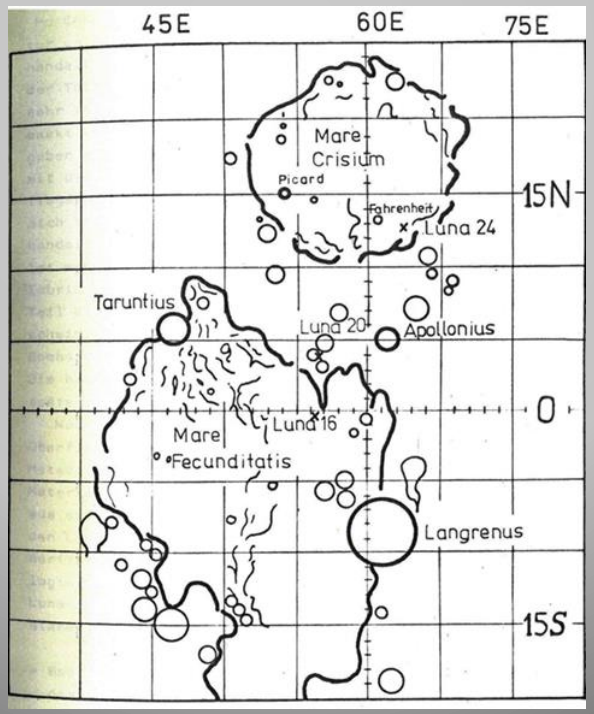
- Bestimmung der Zusammensetzung und der Eigenschaften des lunaren Gesteins, um Rückschlüsse auf geowissenschaftlich orientierte planetologische Fragestellungen zu ziehen
  sowie
- Experimentelle Methoden zu entwickeln, mit deren Hilfe auch bei Verwendung kleinster Probenmengen (wenige Milligramm) verwertbare Ergebnisse erzielt werden können.

Zur Geologie der Landeplätze

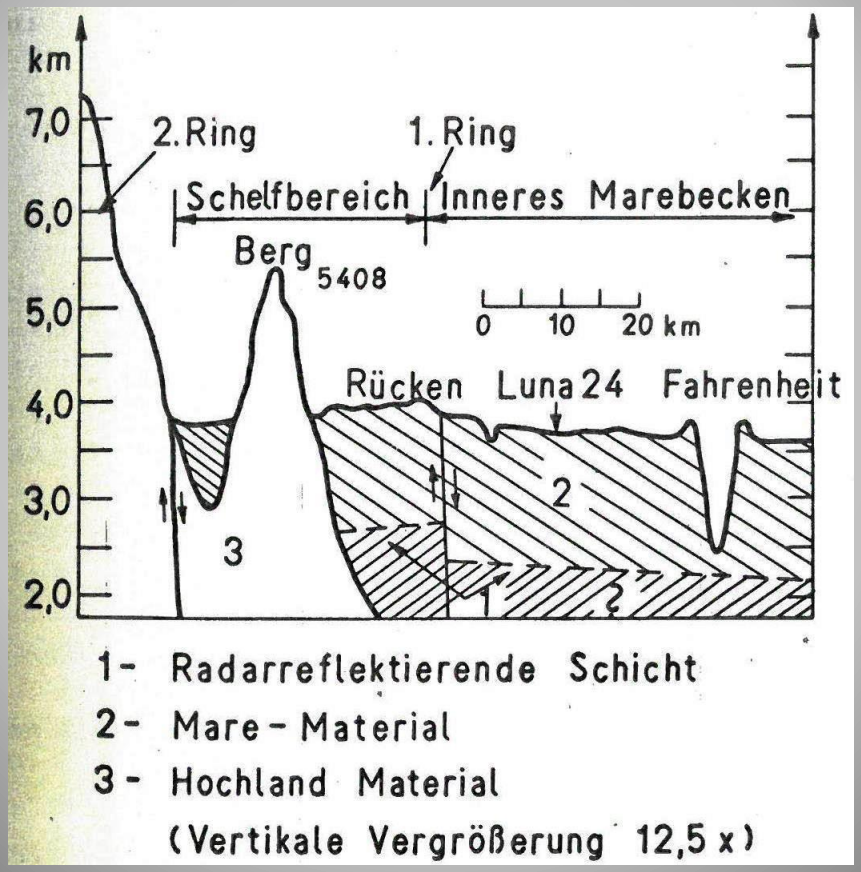
im Mare Fecunditatis (**Luna 16**): mehrere kleine Krater und vorwiegend mit Basaltfragmenten gefüllt (ca. 3,45 Mrd. Jahre); Regolithschicht von 2 – 3 m

Luna 20 – Landeplatz befindet sich am Rand des Apollonius – Kraters C, gefüllt mit Gesteinsbrocken unterschiedlicher Größe; unterschiedliche Krater zwischen ca. 10 m und 10 km

Das Mare Crisium (**Luna 24**) wird von großen ringförmigen Kratern gebildet und ist mit ca. 1 m Regolith sowie Impaktbrocken aus der Umgebung bedeckt (vor allem Basalt).



NW – SE – Profilschnitt durch die oberflächennahen Schichten des Mare Crisium im Gebiet des Luna 24 - Landeortes

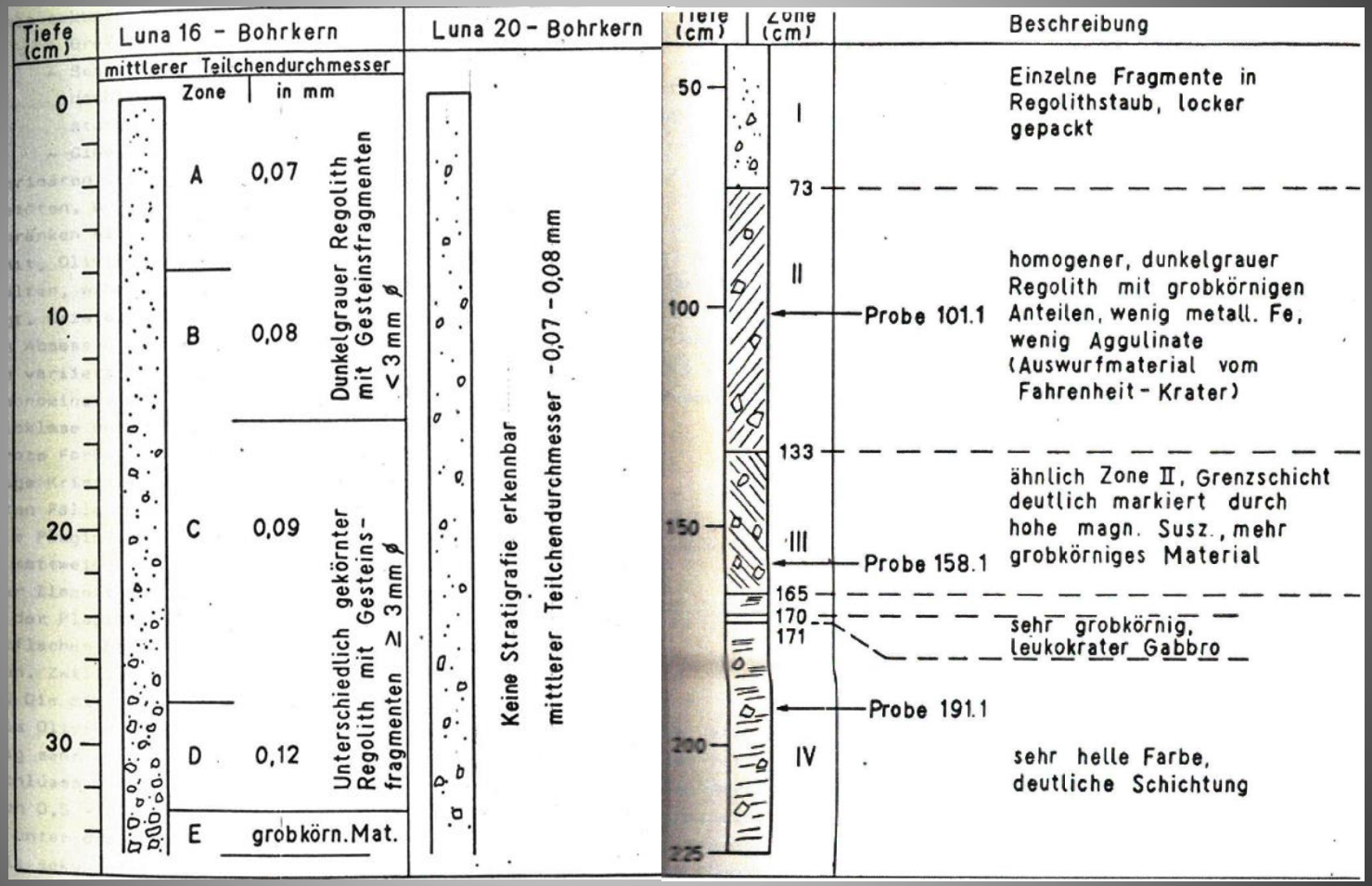


Zusammensetzung und Entstehung des Regoliths

- **Luna 16- Bohrkern** (35 cm, 101 g): grauschwarz, durchschnittliche Korngröße 70 – 120 µm; Basalt, Gabbro, Schlacken und Brekzien; Glas
- **Luna 20 – Bohrkern** (nur 60 g): hellgrau, Korngröße ca. 80 µm; häufiger Fragmente über 1 mm: geringerer Glasanteil als bei Luna 16 sowie wenig Schlackenanteile. Gesteine mit hohem Feldspat – Anteil
- **Luna 24 - Bohrkern** (2,25 m, Innen-Durchm. 8 mm) dunkelgrau; mehr Gabbro und Dolerit als Basalt. 2 Typen des Luna 24 – Regoliths: grobkörnig (relativ frisch)und feinkörnig (älter)

- **Zerkleinerung des Oberflächengesteins** (Meteoriten – Impacts)
- **Agglomeration des zerkleinerten Materials** zu sekundären Teilchentypen; hohe Temperaturunterschiede zwischen Mondnacht und Mondtag, Sonnenwind

Regolith der Stationen Luna 16, 20 und 24



Experimentelle Untersuchungen

- Untersuchungen ausschließlich an feinkörnigen Regolithproben
- Beitrag zur Aufklärung der Geschichte des Mondes
- Art und Zusammensetzung der auf dem Mond anstehenden Gesteine
- Nachweis der im Gestein enthaltenen Minerale, des Chemismus, des strukturellen Zustandes und der physikalischen Eigenschaften der Gesteine mittels vorwiegend röntgenspektroskopischer Messungen

Bestimmung und Klassifizierung der Hauptmineralien

- Optische Polarisationsmikroskopie und röntgenanalytische Methoden (Gandolfi- und Weissenberg- Verfahren)
- 145 Kristallfragmente
- Plagioklase (Albit, Bytownit, Anorthit)
- Pyroxene (Enstatit, Diopsid, Hedenbergit, Ferrosilit) – häufigste Vertreter
- Olivine (Forsterit, Fayalit) sowie Ilmenit

Vergleich mit terrestrischen Mineralvorkommen

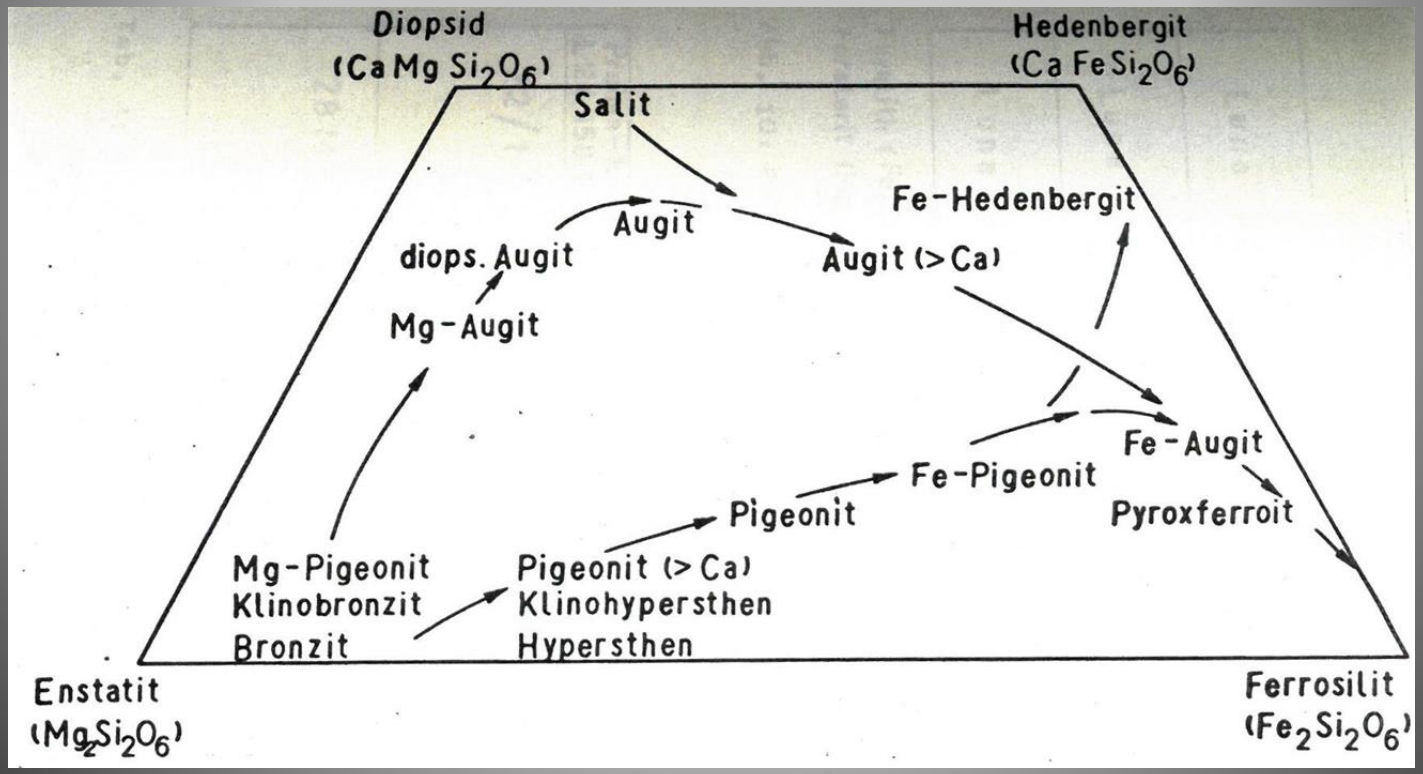
Plagioklase: weniger Alkalimetalle

Olivine: sehr frühe Bildung in Basalten

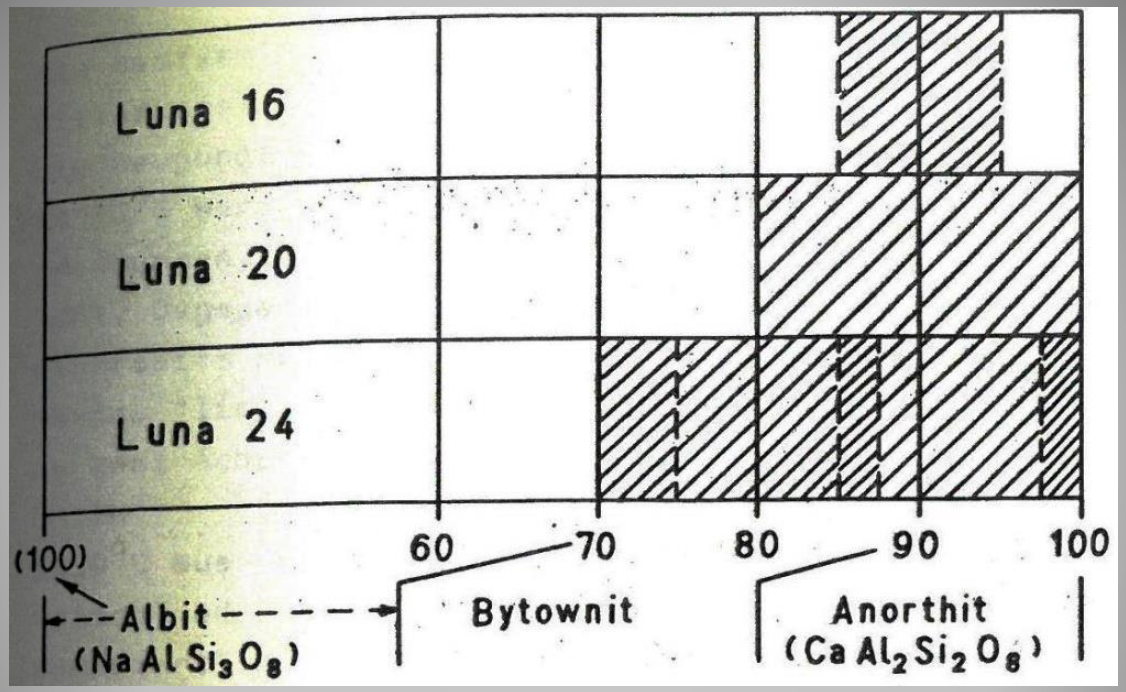
Generell keine grundsätzlichen Unterschiede in Kationenverteilung und Struktur

• Beispiel: Pyroxen- Reihe

vergleichbar mit terrestrischen Vorkommen: überwiegend Klinopyroxene



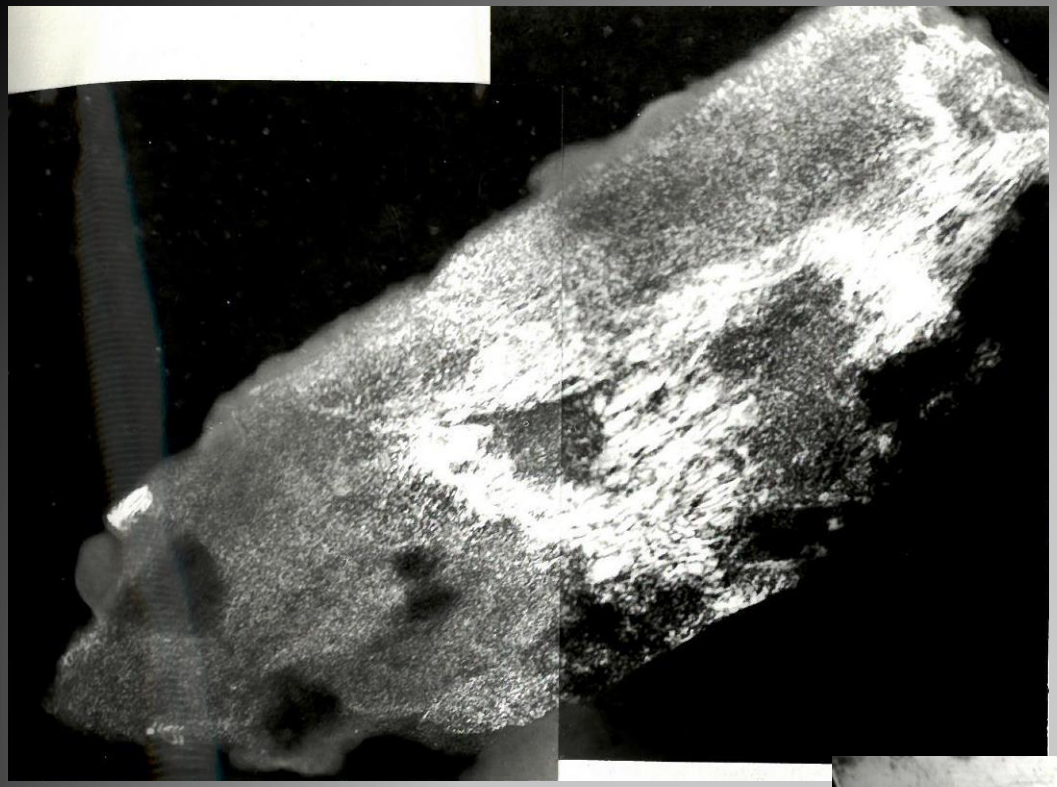
Beispiel: Plagioklas- Reihe



überwiegend kalziumreiche Feldspäte in allen drei Regolithen

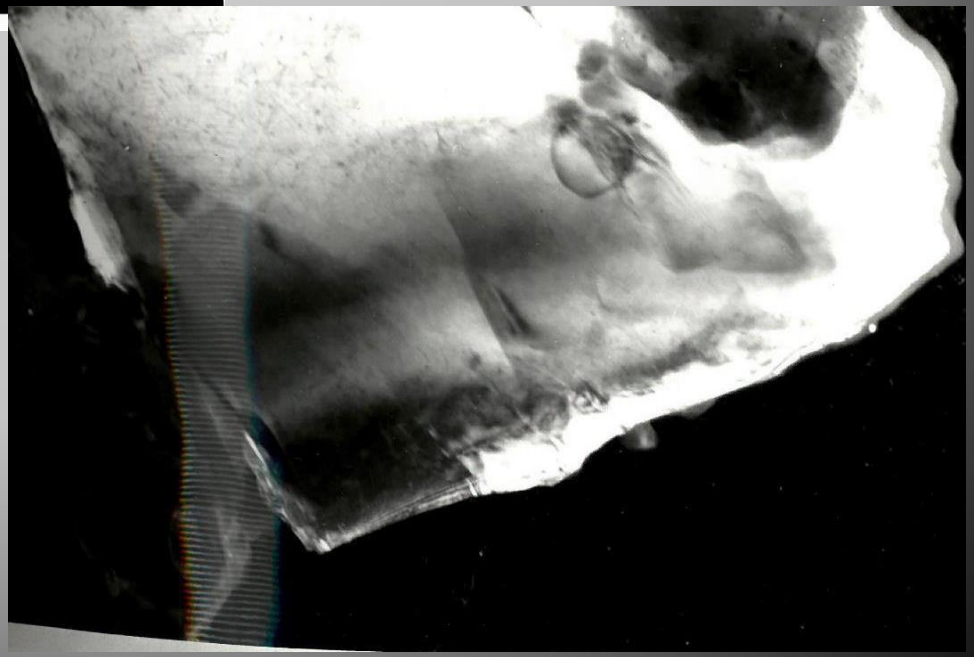
Petrographie und Mineralogie der Gesteins- und Glasfragmente

- Einsatz der Höchstspannungselektronenmikroskopie (HEM – 1 MV), Transmissionselektronenmikroskopie (bis 100 kV) sowie Rasterelektronenmikroskopie
- Für Bereiche kleiner 1 µm bisher selten eingesetzt; mehr komplexe Informationen in diesem Größenbereich:
- Äußere Form, innerer Aufbau, Korn- und Zwillingsgrenzen, Gitterfehler, Ausscheidungen, Einschlüsse und Hohlräume
- Lunare Gläser höhere Kaliumgehalte als Tektite (Kugeln, Bruchstücke, Schlacken)
- Dokumentation von Bruchflächen (Fragmente 0,02 – 0,2 mm)

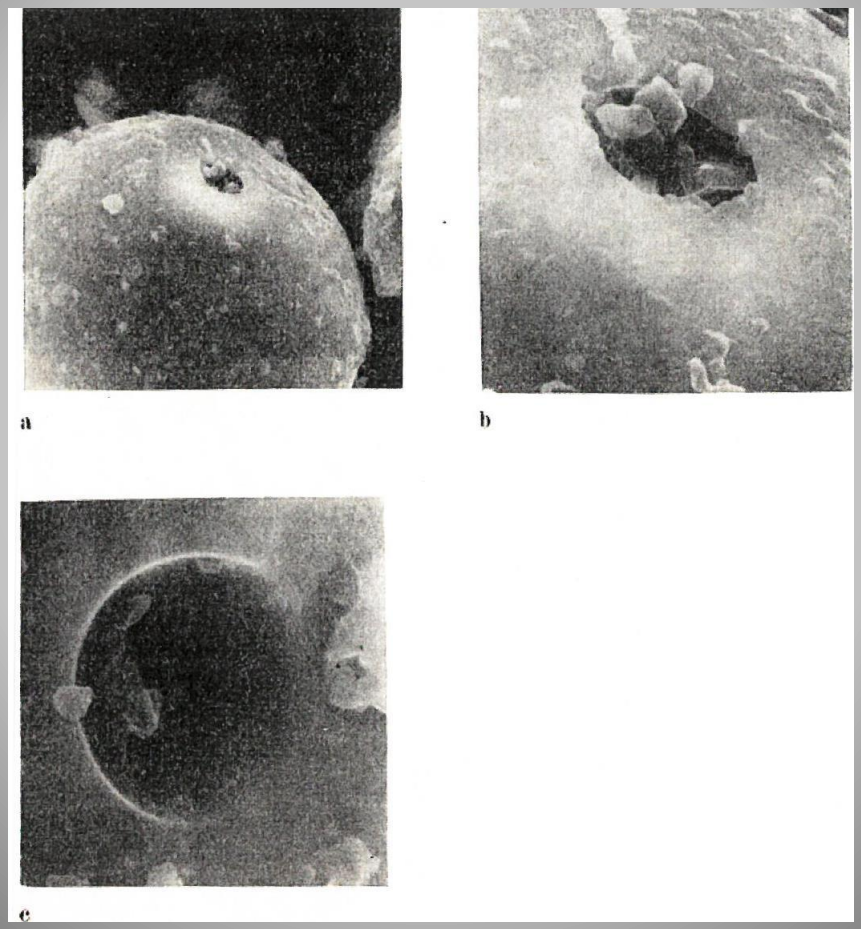


Anorthitfragment (HEM 18000fach)

Kristallines
Agglomerat (HEM 17000fach

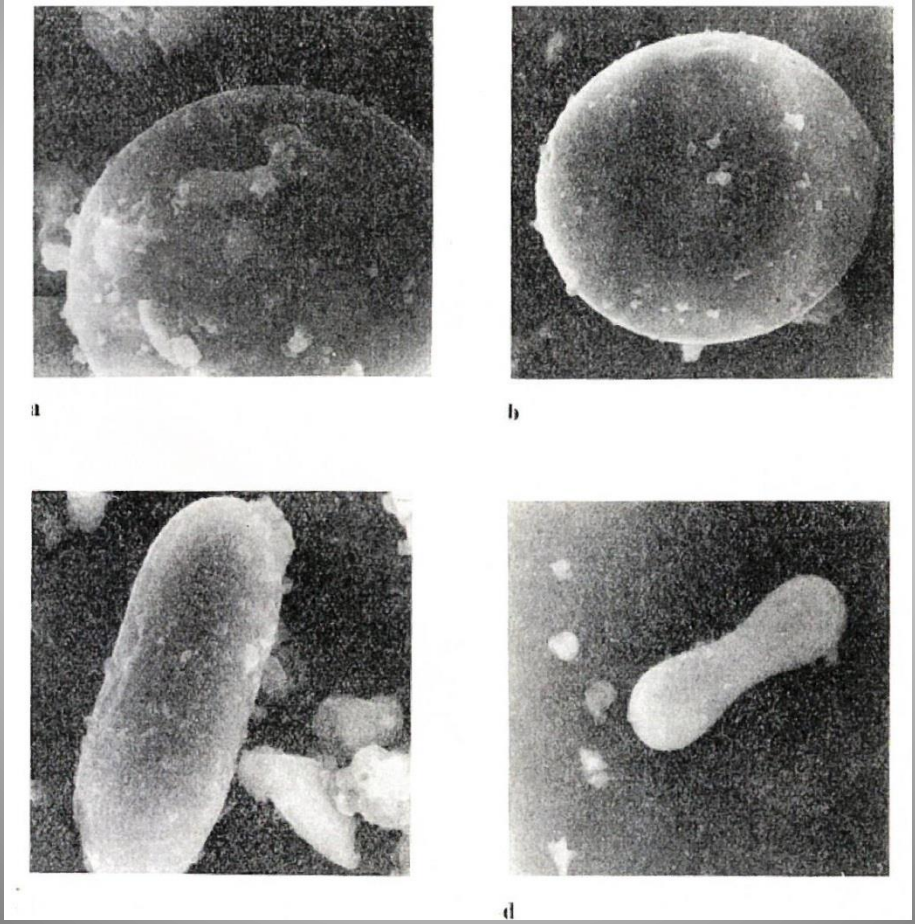


Beispiele für Ausbruchskrater leichtflüchtiger Bestandteile
(REM – Aufnahmen: 500, 1000, 1500fach)



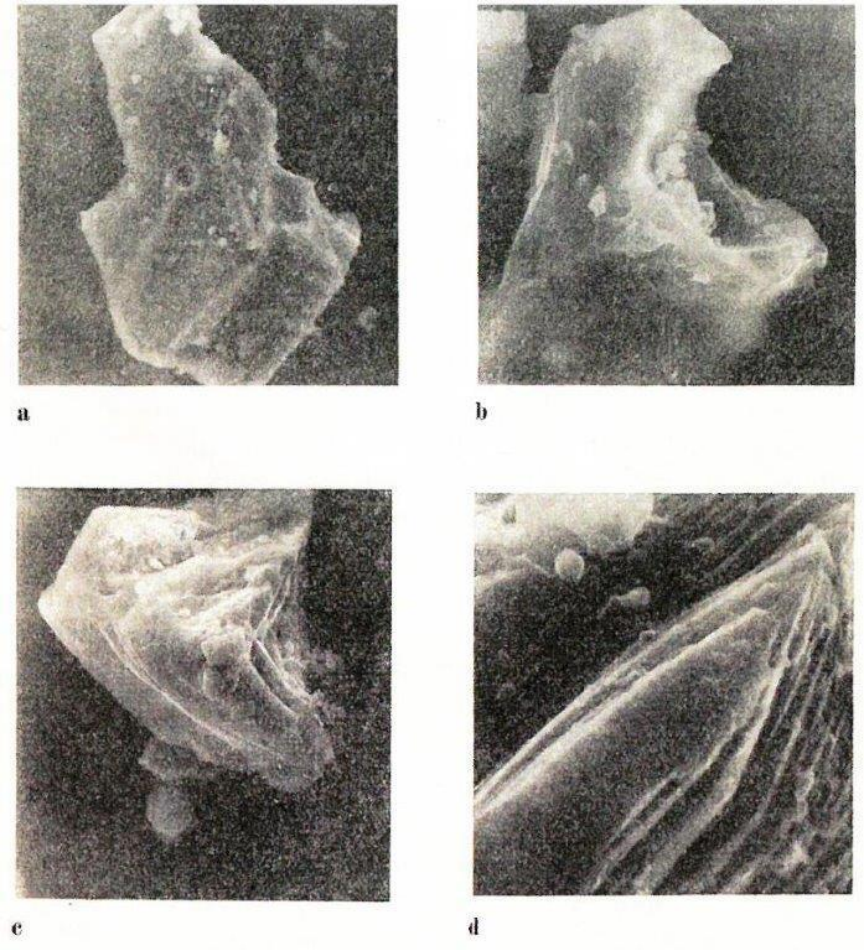
Typische Erscheinungsformen sphärischer Glaskörper im Luna 16 – Material

(REM- Aufnahmen: 250, 500, 1000fach)

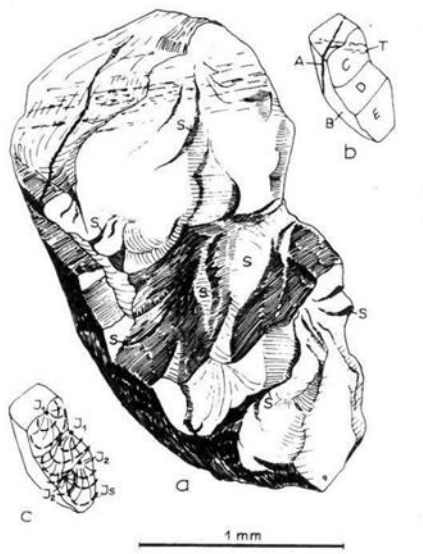


Typische Erscheinungsformen und Oberflächenstrukturen von Glas- und Kristallbruchstücken

(REM-Aufnahmen: 250. 500. 750fach)



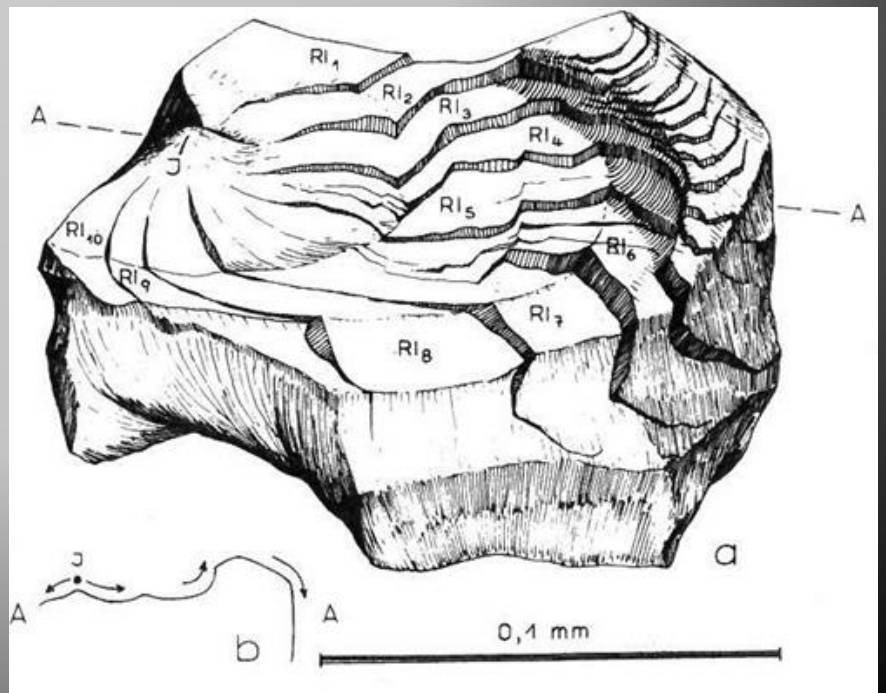
Bruch- Dokumentation an sehr kleinen Regolithfragmenten



1a) Regolithbruchstück, ca. 2 mm, S-Steilkanten

1b) Flächenschema zu 1a, T-Textur

1c) Schema der Rißausbreitung, I_1, I_2-Initialfelder von ungleichzeitiger Entstehung, I_s-Isochronen



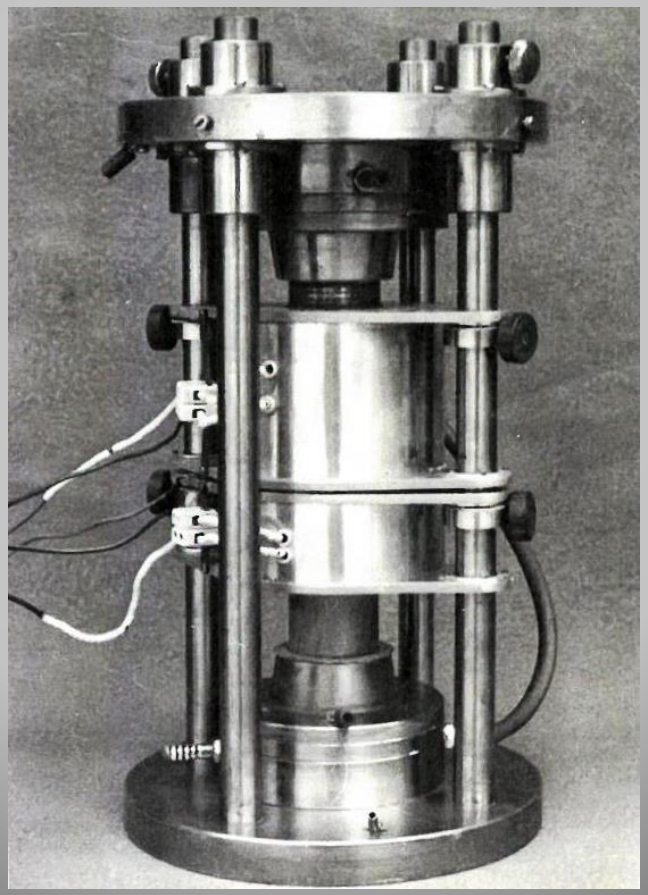
Bestimmung der Haupt- und Spurenelemente im Regolith

- Problem: geringe Probenmenge (Luna 16: 50 mg; Luna 20: 30 mg)
- möglichst zerstörungsfreie Methoden:
  - Aktivierungsanalyse mit Bestrahlung (Neutronen) im Reaktor
  - Massenspektroskopie
- Bestimmt wurden O, Si, Fe, Al, Mg; geringe Unterschiede bei Fe (Luna 16 höher)
- Spezielles Massenspektroskopie- Verfahren für geringe Mengen entwickelt (sonst mindestens 100 mg)
- Regolith 16 und 20 sehr komplex aufgebaut, da aus unterschiedlichen Mondregionen; Luna 20 relativ hoher Co – Gehalt (Meteoriten)
- Natürliche Radioaktivität der Regiolithproben gering (Uran: 0,1 – 0,5 ppm; Thorium: 0,5 – 2,0 ppm; Th/U 3 - 4)
- Messungen am Apollo – Material vergleichbar

Elektrische Eigenschaften des Regoliths

- Elektrische Eigenschaften von Gesteinen sehr komplex (Feuchtigkeit, gesteinsbildende Mineralien ähnlich)
- Messmethoden kompliziert (Materialmenge)
- Ergebnisse wichtig für Bestimmung des elektrischen Mondprofils (Apollo – Messungen)
- Meßergebnisse an kompaktierten Regolithproben mit denen an Gesteinen vergleichbar.
- Hochdruck- Hochtemperatur- Messungen (Bridgman – Doppelstempel - Hochdruckkammer)
- Pyroxene sind hauptverantwortlich für die elektrische Leitfähigkeit; metallische Einschlüsse (Ilmenit)

BRIDGMAN - Doppelstempel – Hochdruckkammer
(300° Celcius, 1,2 GPa)



Zusammenfassung der Messergebnisse

- Problem: 1,8 g Regolith (wenige Mikrometer) für 8 wissenschaftliche Institute
- Röntgenstrukturanalytische Untersuchungen an 500 Kristalliten und Fragmenten
- Lunare Gesteine der Mare: 40 – 60% Pyroxene, 40 – 60% Plagioklase und bis zu 10% Ilmenit und Olivine
- Vergleich zu terrestrischen Analoga: Pyroxene: am stärksten durch Schockwellen beeinflusst; Plagioklase sehr Ca- reich, d.h. weniger Alkalimetalle, geringer gestört; Olivine meist Mg- reich; im Luna 24 – Regolith höhere Bildungstemperaturen
- Elektronenoptische Untersuchungen: Nachweis exogener Faktoren wie Meteorite (Schockenwellen) und Sonnenwind – Bestrahlung (Spuren auf Oberflächen)
- Mineralogisch-geochemische Untersuchungen: Glasbildung aus Plagioklasen vorherrschend; ausschließlich Impaktgläser, wohl keine vulkanischen Gläser
- Lunare Gesteine weniger leicht- und mittelflüchtige Elemente (Na, K, Cu, Sn, etc.)
- Die elektrische Leitfähigkeit variiert stark mit der Temperatur; Haupteinflussfaktor ist wohl der Anteil an Pyroxen im Gestein.
- Analyse der Bruchstrukturen auf Regolithfragmenten: Bruchvorgänge sehr intensiv (explosiv) , meist mit Impaktvorgängen verbunden

Literatur (Auswahl)

- Florensky, K.P., et.al. Nauka, Moskva, 1974. 19 – 22
- Stiller, H., et.al. Nauka, Moskva, 1975, 170
- Florensky, K.P., et.al. ebenda, 23 – 28
- Butler, P. and D.A. Morrison Proc. Lunar Sc. Conf. Peramon Press Vol. 3, 3281
- Vinogradov, A.P. Luni Grunt, Stanzie Luna 20, Nauka, Moskva, 1979
- Wäsch, R. , H. Vollstädt Gerlands Beitr. Geophys. 85, (1976) 449
- Wäsch, R. et. al. Adv. Space Res. 1 (1981), 67
- Zedler, A., et. al. Gerlands Beitr. Geophys. 85 (1976) 459
- Messerschmidt, A. phys. stat. sol. 23 (1974), 43
- Bautsch, H.-J., et. al. Earth: Plat. Sci. Lett. 34 (1977), 403
- Beuge. P., et.al. Gerlands Beitr. Geophys. 85 (1976). 487
- Bankwitz, P. Geologie 15 (1966), 896
- Reiche, M. , et. al. Z. geol. Wiss. 6 (1978), 709
- Vetter, J. Elektronenoptik, Bericht IFE Halle, 1974
- Raidt, H., et. Al. Gerlands Beitr. Geophys. 85 (1976), 441