Heft 14

München, Dezember 1984

G. Neukum mit Beiträgen von G. Neugebauer

Fernerkundung der Planeten und kartographische Ergebnisse

Herausgegeben von G. Neugebauer

SCHRIFTENREIHE



Wissenschaftlicher Studiengang Vermessungswesen Hochschule der Bundeswehr München

Heft 14

München, Dezember 1984

G. Neukum mit Beiträgen von G. Neugebauer

Fernerkundung der Planeten und kartographische Ergebnisse

Herausgegeben von G. Neugebauer

SCHRIFTENREIHE

-HSBw

Wissenschaftlicher Studiengang Vermessungswesen Hochschule der Bundeswehr München Der Druck dieses Heftes wurde gefördert

- aus Haushaltsmitteln der Hochschule der Bundeswehr München,
- aus Mitteln des Institutes für Optoelektronik des Forschungszentrums Oberpfaffenhofen der DFVLR

Auflagenhöhe: 900 Exemplare

Redaktion:G. Neugebauer, HSBw MünchenReinschrift:H. Grandl, R. Fröhlich, HSBw München

Einbanddruck: AKE-DRUCK, Großhartpenning Farbauszugs-Scannertechnik: Multi-Color-Scan GmbH, München Druck der Abbildungen: AKE-DRUCK, Großhartpenning Photo-Reproduktion der einfarbigen Abbildungen: Lehrstuhl für Kartographie und Topographie, H. Wollner, HSBw München Textdruck: Hochschuldruckerei, HSBw München

Verantwortlich für die Herausgabe der Schriftenreihe: Der Prodekan des Wissenschaftlichen Studiengangs Vermessungswesen

Bezugsnachweis:

Studiengang Vermessungswesen im Fachbereich Bauingenieur- und Vermessungswesen Hochschule der Bundeswehr München Werner-Heisenberg-Weg 39 D-8014 Neubiberg

ISSN 0173-1009

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	5
Fernerkundung der Planeten und kartographische Ergebnisse	7
Zusammenfassung / Summary	89
Abbildungsnachweis	91
Literaturnachweis	93
Anhang	95
In der Schriftenreihe bisher erschienene Hefte	101

Seite

VORWORT

Am 23. März 1983 wurde im Rahmen des geodätischen Kolloquiums an der Hochschule der Bundeswehr München eine Vortragsveranstaltung mit dem Thema "Fernerkundung der Planeten und kartographische Ergebnisse" abgehalten. Eingeladen hatte der Lehrstuhl für Kartographie und Topographie des Studienganges Vermessungswesen. Vortragender war Herr Dr. Neukum, Leiter der Abteilung "Planetare Erkundung" im Institut für Optoelektronik des Forschungszentrums Oberpfaffenhofen der DFVLR (Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt) und Privatdozent an der Ludwig-Maximilians-Universität München für das Fach Geophysik.

Dem Lehrstuhl ging es darum, einen Fachmann zu Wort kommen zu lassen, der mit den neuesten Ergebnissen der laufenden Fernerkundungsmissionen von Amerikanern und Russen zu den Planeten unseres Sonnensystems vertraut ist und der auch die entsprechenden kartographischen Informationen besitzt. Das ist bei Herrn Neukum der Fall. Aufgrund seiner Tätigkeit in verschiedenen nationalen und internationalen Einrichtungen und Gremien nimmt er seit längerer Zeit entweder direkt an bestimmten Unternehmen der Weltraumforschung teil oder hat Zugang zu deren Resultaten. Als informativ am wichtigsten sind hier die Einrichtungen der NASA (National Aeronautics and Space Administration) sowie das Zentrum für Planetenkartographie des United States Geological Survey in Flagstaff, Arizona, zu bezeichnen.

Wenn man bedenkt, daß vor 27 Jahren (1957) der erste Erdsatellit (Sputnik 1) in den Weltraum geschossen wurde und vor 15 Jahren der erste Mensch auf dem Mond stand (Apollo 11), heute aber bereits die lunare Kartographie im wesentlichen als abgeschlossen gilt, umfangreiche kartographische Ergebnisse von Merkur vorhanden sind, verstärkte kartographische Aktivität bei Mars und Venus zu verzeichnen ist, ja selbst von den Planeten und Satelliten des äußeren Planetensystems erste kartographische Resultate vorliegen, erkennt man die Bedeutung dieses schnell wachsenden neuen Aufgabengebiets für die Kartographie. Nun wird zwar die planetare Kartographie von den beiden gewichtigen Weltraum-

nationen USA und UdSSR in erster Linie im nationalen Interesse betrieben. Es besteht aber immerhin die Möglichkeit, sich mit den zugänglichen Ergebnissen vor allem der westlichen Seite, und deren gibt es genug, auseinanderzusetzen und somit allgemein für die Kartographie zu profitieren. K. H. Meine, der seit etwa 1966 bis dato in den "Allgemeinen Vermessungs-Nachrichten" und den "Kartographischen Nachrichten" über die kartographischen Aspekte der Weltraumforschung berichtet und eine umfangreiche Bibliographie des anfallenden Schrifttums zusammengestellt hat, tut das publizistisch mit sichtlichem Erfolg.

Verfasser und Herausgeber haben es unternommen, in der vorliegenden Publikation zur Planetenkartographie einen Beitrag aus eigener Sicht zu leisten. Die Voraussetzungen dazu waren durch einschlägige Forschungsarbeiten in den USA und bei der DFVLR, Abteilung "Planetare Erkundung", gegeben. Der Beitrag ist in Form eines systematischen Ganges durch das Planetensystem konzipiert, wobei in chronologischer Reihenfolge über die bildhafte Erfassung der Planeten berichtet wird sowie über die daraus abgeleiteten Ergebnisse in geowissenschaftlicher und kartographischer Hinsicht. Während sich der geowissenschaftliche Teil kurz mit den Schwerpunkten Oberflächenstruktur, physikalischer Zustand und geologische Entwicklung befaßt, wird in kartographischer Hinsicht Wert auf die Kartenergebnisse und deren Vorstellung in möglichst repräsentativer Auswahl gelegt. Die Demonstration von Bild- und Kartenmaterial in guantitativer wie gualitativer Hinsicht ist dabei sehr wesentlich. Teilweise sind selbst neueste Forschungsergebnisse eingebzogen, die auch in DFG- und BMFT-geförderten Vorhaben erarbeitet wurden. Mit 38 Schwarz-Weiß- und 13 Farbabbildungen zum erläuternden Text wird ein hohes Maß an bildhafter Information geliefert.

Der Text dieser Veröffentlichung basiert auf einem in freier Rede gehaltenen Vortrag. Ein Manuskript war nicht vorhanden, lediglich ein Tonband, das die Rede aber nur unvollständig und stark verzerrt enthielt.

Die Umsetzung für die Veröffentlichung erforderte deshalb eine Neuformulierung, mit der gleichzeitig eine Erweiterung des kartographischen Anteils erfolgte.

G. Neugebauer

G. Neukum, mit Beiträgen von G. Neugebauer

Fernerkundung der Planeten und kartographische Ergebnisse

Der vorliegenden Abhandlung liegt ein Vortrag ohne Manuskript von G. Neukum zugrunde. Die Neufassung und Erweiterung erfolgte in Zusammenarbeit von G. Neukum und G. Neugebauer.

Wie das Thema sagt, wird im folgenden über die fernerkundliche, bildhafte Erfassung der Planetenoberflächen berichtet. Die Ergebnisse werden sowohl geowissenschaftlich als auch kartographisch mit Hilfe der Bilddaten erläutert.

Zur Zeit der Mondmissionen lagen die kartographischen Arbeiten beim amerikanischen Militär (Defense Mapping Agency Aerospace Center, St. Louis, Missouri). Sie wurden dann aber sehr bald an den United States Geological Survey abgegeben. Das ist eine Bundesbehörde der Amerikaner mit einem Zentrum für Planeten-Kartographie in Flagstaff, Arizona. Dort werden die planetaren Bilddaten kartographisch umgesetzt. Anhand einer Auswahl der planetaren kartographischen Produktion des US Geological Survey wird im einzelnen erläutert, wie diese Karten entstanden sind und was sie aussagen.

Zuvor aber soll ein Überblick über die Planeten gegeben werden, damit sich der Leser vertraut machen kann mit den Oberflächenstrukturen, dem physikalischen Zustand und der geologischen Entwicklung dieser Objekte. Es wird dabei die Chronologie der Ereignisse berücksichtigt und zuletzt werden die kartographischen Ergebnisse genauer behandelt. Selbstverständlich werden zwischendurch immer Karten gezeigt und Hinweise zur Kartographie gebracht.

Was sie kartographischen Ergebnisse betrifft, so wird vor allem Bezug genommen auf Herrn Dr. R.M. Batson vom US Geological Survey, der Leiter der Gruppe für das planetare Kartographieprogramm des Zentrums in Flagstaff ist.

Am Schluß werden einige gelungene Farbbilder vorgeführt, die einen anderen Aspekt der Fernerkundung beleuchten sollen, nämlich die bildhafte Erfassung der Planeten in Form von multispektralen Bilddaten sowie deren Verarbeitung, und was man daraus über die Zusammensetzung der Planetenoberflächen in mineralogisch-chemischer Hinsicht ersehen kann.

Bei unserem Gang durch das Planetensystem werden wir mit dem Mond anfangen, denn die extraterrestrische Fernerkundung beziehungsweise die Planetenforschung in Form von Missionen - man mußte ja zur genaueren Erfassung zu den Objekten hinfliegen - hat mit dem Mond begonnen. Diese Entwicklung soll mit Hilfe von Abbildungen möglichst chronologisch geschildert werden, damit ein folgerichtiger Eindruck entsteht, was in den letzten 15 Jahren wirklich geschehen ist.

Abbildung 1 :

Die Abbildung zeigt das Sonnensystem in schematischer Darstellung und zwar die Sonne mit ihren Planeten im Orbit. So ergibt sich eine erste Vorstellung darüber, in welchen Dimensionen wir uns bewegen.

Das <u>innere Sonnensystem</u> erstreckt sich vom Merkur bis zum Mars. Die eigentliche Grenze zwischen innerem und äußerem Teil des Planetensystems ist der Planetoidenring oder Asteroidengürtel. Die Erforschung des inneren Sonnensystems stand am Beginn der Planetenexploration, angefangen beim Mond. Später, weitergreifend, hat man sich hinausbewegt mit verschiedenen Missionen zu den großen Planeten Jupiter und Saturn. Momentan befindet man sich mit einer der Voyager-Sonden nach dem Durchflug durch das Jupiter- und Saturnsystem auf dem Wege zum Uranus. Voyager wird dort 1985 ankommen und um die Wende 1989/90 den Planeten Neptun erreichen. Damit wird bis auf Pluto das Sonnensystem zumindest in ersten Blicken auf die äußeren Planeten erforscht sein, und man wird Bilddaten von diesen Objekten zur geowissenschaftlichen Auswertung und kartographischen Erfassung zur Verfügung haben.

Zu den Abständen: Saturn ist zum Beispiel 10mal so weit entfernt von der Sonne wie die Erde, also 10 Astronomische Einheiten, Jupiter 5 Astronomische Einheiten.



Abb. 1

Sonnensystem (schematisch)



Planeten im Größenvergleich



Erdmond

Abbildung 2 :

Bei der Abbildung handelt es sich um eine Übersicht der Planeten des Sonnensystems, die einer Arbeit von Herrn Batson entstammt. Sie enthält eine maßstabige, direkt vergleichbare Zusammenstellung aller Planeten, die bereits kartographiert worden sind oder sich zur Zeit in kartographischer Bearbeitung befinden. Die Planeten und deren Satelliten sind hier wie auch in nachfolgenden Abbildungen einschließlich der Detailbilder nach Norden orientiert. Ausnahmen werden durch Zusatz einer richtungsweisenden Nordpfeiles angezeigt.

Man sieht hier die Erde und, nur geringfügig kleiner, den Planeten Venus mit seiner dichten Wolkenhülle. Die Wolkenhülle besteht im wesentlichen aus CO₂ mit einem Oberflächendruck von 90 bar, also 90mal höher als der irdische Druck. Die Wolken bestehen vorwiegend aus Schwefelsäure. Es ist sehr heiß auf der Venusoberfläche, etwa 400° bis 500° C.

Schräg rechts unter der Erde ist unser Erdmond abgebildet, der einen Durchmesser von 3476 km hat, also etwa ¼ des Erddurchmessers.

Der innerste Planet ist der Merkur. Er ist mit ca. 4800 km Durchmesser etwas größer als der Erdmond. Außerhalb der Erdbahn, im Abstand von 1,5 Astronomischen Einheiten von der Sonne, findet sich der Planet Mars mit 6800 km Durchmesser. Er hat eine sehr dünne Atmosphäre aus CO₂ mit einem Oberflächendruck von etwa 7 mbar. Er besitzt Polkappen aus Wassereis, auf denen sich in der kältesten Jahreszeit CO₂-Schnee niederschlägt, d.h. ein Teil der Atmosphäre kondensiert dann.

Ins äußere Sonnensystem gehend, sehen wir im Bild rechts oben die Galileischen Satelliten des Jupiter, die eigentlich schon Planetengröße haben, zum Teil vergleichbar mit Merkur, ja sogar größer als dieser. Die Galileischen Satelliten heißen von innen nach außen gesehen: Io, Europa, Ganymed, Callisto. Es wird anschließend noch genauer auf ihre Eigenschaften eingegangen werden. Dann links unten im Bild die Saturn-Satelliten, die fast alle recht klein sind. Je weiter wir uns im Sonnensystem nach außen bewegen, desto mehr leichtflüchtige Elemente

finden sich vor, d.h. die Jupiter- und Saturn-Satelliten bestehen zum Teil aus Wassereis, die Saturn-Satelliten sogar zum überwiegenden Teil aus Wassereis mit Dichten nahe bei 1 g/cm^3 .

Die bildhafte Erfassung der Oberflächen der inneren Planeten und der Monde der großen Planeten im optischen Wellenlängenbereich läßt sich in den meisten Fällen sehr gut durchführen, da keine Atmosphäre oder nur eine dünne Atmosphäre vorhanden ist, wie beim Planeten Mars. Eine Ausnahme bildet Venus, welche eine sehr dichte Atmosphäre hat. Hier hilft nur die Erfassung der Oberfläche durch Radar. Es gibt tatsächlich mittlerweile eine Radarkarte des Planeten Venus, die später zu sehen sein wird (Abb. 17). Sie wurde während der amerikanischen Pioneer-Venus-Mission 1979 aufgenommen.

Die Namen der Weltraummissionen, welche Daten für kartographische Zwecke lieferten, sind in der Abbildung mitaufgeführt.

Abbildung 3 :

Wenden wir uns nun dem <u>Erdmond</u> zu, wie er hier in einer Aufnahme des Lick-Observatoriums zu sehen ist. Die ersten Eindrücke von der Oberflächenstruktur sind die vielen Krater (Einschlagskrater).

Am Anfang der Planetenforschung bzw. planetaren Fernerkundung gab es nichts anderes als die astronomische Beobachtung des Mondes, des Mars usw. Nur am Mond konnte man eine einigermaßen genügend gute räumliche Auflösung erzielen, und zwar unter günstigen Umständen von einigen 100 Metern. Am Mars hat man wenig tatsächlich Vorhandenes erkannt. Die Kanäle, die Schiaparelli meinte entdeckt zu haben, waren optische Täuschungen. Sie existieren nicht wirklich. Man wird aber nachher sehen, daß es viele andere Phänomene auf der Marsoberfläche gibt, die mindestens so interessant sind, wie damals die vermeintlichen Kanäle. Lediglich die kleinen grünen Männchen, die gibt es nicht. Leben ist nirgends gefunden worden, auch nicht auf dem Mars. Bei den Kratern, die vor allem auf den hellen Gebieten des Mondes, des Mondhochlandes, zu sehen sind, handelt es sich um Einschlagskrater, hervorgerufen durch das Auftreffen von großen Meteoriten mit hoher Geschwindigkeit. Anfänglich, zum Teil noch bis zur Mitte dieses Jahrhunderts, wurden diese Krater fälschlich für Vulkankrater gehalten. Dieser hypothetische Streit, Vulkankrater oder Meteoritenkrater, wurde endgültig mit den Apollo-Mondlandungen zugunsten der Meteoriten-Hypothese gelöst. Man fand die Antwort vor allem in den Gesteinsproben, die klare Spuren von Einschlagseffekten zeigten. Es ist eindeutig geklärt, daß fast alle Mondkrater Einschlagskrater sind.

Die Untersuchungen der Einschlagskrater spielen eine ziemlich große Rolle in der Erfassung des Ablaufs der geologischen Entwicklung des Mondes bzw. der Planeten. Ich habe mich intensiv mit dem Phänomen der Einschlagskrater befaßt. Man kann Einschlagskraterhäufigkeiten zur relativen und sogar zur absoluten Datierung des Alters planetarer Oberflächen benutzen.

Auf der Mondvorderseite (Abbildung) lassen sich sehr viele Einschlagskrater auf dem Mondhochland, aber nur sehr wenige in den dunkler erscheinenden, aus basaltischem Gestein bestehenden Flächen des Mondtieflandes wahrnehmen. Dies heißt, daß das Mondtiefland jünger ist, denn je länger die Oberfläche exponiert ist, desto mehr Einschlagskrater hat sie. Die Zahl der überlagerten Einschlagskrater ist folglich ein Maß für das Alter.

Abbildung 4 :

Hier ist der nördliche Teil der Mondvorderseite mit dem großen, ringförmigen Imbrium-Becken abgebildet. Dieses Becken ist ein riesiger Einschlagskrater von über 1000 km Durchmesser. Der Ring ist eine Art Kraterwall. Dem Becken überlagert sind viele kleinere Einschlagskrater, zum Beispiel der Krater Archimedes (Pfeil) mit ca. 100 km Durchmesser.

Auf fast allen Planeten finden sich Einschlagskrater. Die Bildung von Einschlagskratern war ein fundamentaler Prozeß kurz nach der Entstehung des Planetensystems.

Das heftige Bombardement erfolgte durch Überbleibsel von Materie großer Meteoriten (Planetesimale) am Ende der Zusammenballung der Planeten. Alle Planeten waren mehr oder weniger heiß am Anfang ihrer Bildung. Als die Kruste fest wurde, fielen die letzten Überreste darauf und verursachten Krater. Wenn wir eine solch große Anzahl von Kratern wie auf dem Erdmond sehen, dann wissen wir, daß es sich um Oberflächen handelt, die 4 bis 4,5 Milliarden Jahre alt sind. Diese Aussage kann man pauschal für alle planetaren Objekte machen.

Die Benennung der Oberflächenstrukturen ist beim Erdmond zum großen Teil historisch bedingt. Heute kümmert sich ein Komitee der Internationalen Astronomischen Union um die Namensgebung.

Die Krater auf dem Mond sind in verschiedener Weise benannt, gewöhnlich nach Astronomen, Wissenschaftlern, Künstlern, Autoren, Musikern; auf dem Mars häufig nach Städten und Astronomen. Bei Ganymed und Callisto im Jupitersystem hat man die Mythologie herangezogen, desgleichen im Saturnsystem. Bei Callisto ist die Benennung der Krater nach der nordischen Mythologie und bei Ganymed nach der nahöstlichen vorgenommen worden.

Andere Oberflächenstrukturen der Planetenoberflächen sind sehr unterschiedliche benannt worden, zum Teil mit Namen aus der Mythologie, zum Teil auch wieder nach Wissenschaftlern oder Künstlern. Die Benennung der Strukturen ist folglich sehr unterschiedlich und teilweise wenig systematisch. Aber es ist eine umfangreiche Aufgabe, alle Strukturen zu benennen, denn es handelt sich um sehr viele Objekte.

Im folgenden werden kartographische Ergebnisse des Erdmondes nur allgemein vorgestellt, da bereits detaillierte Abhandlungen in der Literatur zu finden sind.

Von teleskopischen Aufnahmen des Mondes wurden die ersten Karten hergestellt, die Serie der sogenannten "Lunar Astronautical Charts" im Maßstab 1 : 1 Mill. Darauf bauten die Mondmissionen auf, zunächst die Ranger-Missionen, dann die Surveyor-Missionen, die Lunar-Orbiter-Missionen und die Apollo-Missionen. Im Laufe der Missionen hat man immer mehr Bilddaten gewonnen und die Oberfläche in immer feinere Details aufgelöst, so daß heute beim Mond Kartenmaßstäbe bis



Erdmond -Imbrium

Abb. 5

Erdmond – Mare Orientale



Erdmond – Rückseite





Erdmond - Lavaströme im Mare Imbrium

Abb. 7

1 : 25 000 vorliegen. So genau sind Teile der Oberfläche des Mondes kartographiert, und das ist recht erstaunlich. Man kann folglich sagen, daß der Mond nach der Erde der besterforschte Planet mit sehr guter kartographischer Abdeckung ist. Das kommt nicht von ungefähr, sondern daher, daß die Aufnahme-Systeme damals in ihrer räumlichen Auflösung schon recht gut waren. Bei der Lunar-Orbiter-Mission verwendete man ein im nachhinein recht antiquiert anmutendes Verfahren. Die Aufnahmen wurden im Raumschiff mit einer speziellen Kamera gemacht, der Film automatisch elektronisch abgetastet. Die Daten wurden anschließend zur Erde gesendet und dort wieder zum photographischen Bild zusammengesetzt. Das Verfahren mutet heute etwas sonderbar an, aber so war das am Anfang. Die Auflösung war gut, bis zu 1 m. Mit derartig gewonnenen Daten hat man die großmaßstabigen Karten 1 : 25 000 hergestellt, die sehr wichtig für die Mondlandungen waren.

Abbildung 5 :

Dieser Krater ist das <u>Mare Orientale</u>, ein großes Ringbecken. Es ist ein riesiger Einschlagskrater mit 1000 km Durchmesser, das besterhaltene große Ringbecken des Erdmondes mit drei deutlich sichtbaren Ringen. Um ihn herum erkennt man Auswurfsmaterial, das bei jedem Einschlag dieser Art entsteht, und das bei Einschlägen dieser Größe um den halben Mond herum transportiert werden kann. Die Grenze zwischen Vorder- und Rückseite des Mondes (westlicher, von der Erde aus sichtbarer Rand) verläuft am östlichen (rechten) Rand des Ringbeckens durch das Hochlandgebiet, das zum Teil mit Auswurfsmaterial überdeckt ist. Der rechte Teil des Bildes zeigt dunkle, tiefliegende Maregebiete der Vorderseite, die durch vulkanische Tätigkeit mit basaltischem Material gefüllt sind.

Abbildung 6 :

Hier sieht man die Mondrückseite, die Mitte der 60er Jahre auf den Lunar-Orbiter-Aufnahmen das erste Mal im Detail erfaßt werden konnte. Wie auf dem südlichen Hochland der Mondvorderseite sind zahlreiche Einschlagsstrukturen zu erkennen, die vor allem in der Zeit vor 4 bis 4,5 Milliarden Jahren entstanden sind.

Abbildung 7 :

Bei den Apolloflügen 15 bis 17 waren zum ersten Mal echte Meßkammern an Bord, die hochgenaue photographische Aufnahmen ermöglichten. Hier wird eine Aufnahme gezeigt, die mit der metrischen Kamera bei Schrägsicht nach Norden gemacht wurde. Die räumliche Auflösung aus 100 km Höhe lag bei etwa 25 -30 m. Die Apollo-Raumschiffe überflogen etwa 10 % der Mondoberfläche. Aus diesen Aufnahmen wurden sehr gute Karten hergestellt. Die dunklen Flächen sind die Mond"meere" (Maria), entstanden durch vulkanische Aktivität. Lavaströme haben die tiefliegenden Gebiete aufgefüllt, wie bereits an anderer Stelle erwähnt. Deutlich heben sich in der Abbildung einzelne Lavaströme heraus (Pfeile), die in Richtung Nordosten geflossen sind. Dies geschah in der Zeit vor 4 bis 3 Milliarden Jahren.

Abbildung 8 :

Mit den Apollo-Missionen hat man den Höhepunkt der Mondforschung erreicht, zumindest im Sinne der Forschungen durch Missionen mittels Raumsonden. Auf dieser Mondabbildung sind die Landestellen eingezeichnet, z.B. Apollo 11, 12, 14, 15, 16, 17. Dazu kommen die russischen unbemannten Landungen mit Luna 16, 20 und 24. In der Folge dieser Missionen wurde der Mond sehr genau untersucht. Ich will ganz kurz auf ein paar Ergebnisse dieser Untersuchungen eingehen, an denen auch ich Anteil hatte.

Abbildung 9 :

Von besonderem Interesse waren die Gesteinsproben des Mondes. Sie erlauben eine Reihe von Untersuchungen, die Aufschluß über seinen chemisch/mineralogischen Aufbau und seine Entwicklungssgeschichte geben. Insbesondere läßt sich das Alter aus den Untersuchungen der Gesteinsproben mittels radiometrischer Messungen bestimmen. Aus der Abbildung wird ersichtlich, daß die Gesteinsalter der



Erdmond – Landestellen

Abb. 8





Abb. 10

Marebasalte, d.h. der dunklen Gebiete des Mondes, durchwegs zwischen 3 und 4 Milliarden Jahren liegen.

Abbildung 10 :

Für die hellen Gebiete des Mondes setzt man im wesentlichen Alter über 3,8 Milliarden Jahre bis zu etwa 4,5 Milliarden Jahre an. Die ältesten irdischen Gesteine sind dagegen mit nur 3,8 Milliarden Jahren datiert. Beim Mond schauen wir viel weiter in die Vergangenheit zurück, bis fast an den Anfang der Bildung des Erde-Mond-Systems.

Es existieren ausreichend gute Bilddaten von den Landestellen, an deren Gesteinsproben die radiometrischen Altersdaten gewonnen wurden. Es lassen sich über die Bilddaten die Kraterhäufigkeiten der Landestellen erfassen und diese mit den radiometrischen Altersdaten korrelieren. So erhält man eine empirische Beziehung zur absoluten Altersbestimmung. Die daraus resultierenden Ergebnisse sind in der nächsten Abbildung dargestellt.

Abbildung 11 :

Auf der Abszisse ist das radiometrische Alter der Mondgesteine der Landestellen aufgetragen bzw. das Alter der Stellen, von denen man auf eine andere Weise radiometrische Altersdaten gewonnen hat. Zusätzlich ist noch ein terrestrischer Datenpunkt erfaßt, der auf Mondbedingungen umgerechnet wurde.

Auf der Ordinate ist logarithmisch die Kraterhäufigkeit für Kratergrößen von 1 km bzw. 10 km aufgetragen. Die Kraterhäufigkeiten sind nicht in allen Fällen bei den dort angegebenen Kratergrößen bestimmt worden, sondern zum Teil über eine Verteilungskurve von Häufigkeiten bei anderen Durchmessern umgerechnet worden. Im wesentlichen ergibt sich folgendes Bild: die meisten Datenpunkte fallen in die Altersspanne zwischen ca. 4,3 und 3 Milliarden Jahre. Für Alter zwischen 3 und 1 Milliarde Jahre liegen keine Daten vor. In dieser Zeit hat sich am Mond geologisch sehr wenig ereignet. Für Alter zwischen 1 Milliarde Jahre und heute liegen jedoch wieder Werte vor. Dies sind im wesentlichen junge Einschlagstrukturen, deren Exponierungsalter und Häufigkeiten von superponierten Einschlagskratern gemessen werden konnten. Es sieht so aus, als ob um ca. 3 Milliarden Jahre ein kontinuierlicher Übergang zu einer konstanten Einschlagsrate zu erkennen ist. Theoretisch läßt sich diese Charakteristik untermauern. Die hier gezeigte empirische Beziehung kann benutzt werden, um absolute Alter für Strukturen der Mondoberfläche über die Messung von Kraterhäufigkeiten aus Bilddaten zu bestimmen.

Abbildung 12 :

In diesem Diagramm ist die aus den vorher behandelten Monddaten abgeleitete Einschlagsrate als Funktion der Zeit dargestellt. Auf der Abszisse ist wieder das absolute Alter aufgetragen. Die Ordinate enthält die zeitliche Ableitung der Kraterhäufigkeit in logarithmischer Darstellung.

Man erkennt deutlich den sehr steilen Abfall des Meteoritenbombardements bis vor ungefähr 3 Milliarden Jahren; von damals bis heute ist die Einschlagsrate im wesentlichen konstant geblieben.

Die über die Monddaten bestimmten Werte für jüngere Alter weichen etwas ab von den heute ermittelten Werten der erdbahnkreuzendenden Asteroiden, den Apollo-Asteroiden. Jedoch sind die Unsicherheiten in den Asteroiden-Beobachtungen sehr viel größer, da es sehr schwierig ist, diese Objekte zu erfassen, deren Durchmesser zu bestimmen und die Einschlagswahrscheinlichkeit dieser Körper auf den Mond zu berechnen.

Die Einschlagsrate ist heute derart, daß wir zum Beispiel auf der Erde alle 100 Millionen Jahre mit extraterretrischen Einschlägen rechnen müssen, die Krater von 100 km Durchmesser und mehr erzeugen. Es wird zur Zeit spekuliert, ob die Auslöschung ganzer Spezies an der Kreide-Tertiär-Grenze, also vor 65 Millionen Jahren, mit solch einem großen Einschlag zusammenhängt. Damals ist das Leben







Merkur – Südpol

Abb. 13

auf der Erde nachhaltig beeinträchtigt worden. Erkenntnisse deuten darauf hin, daß sich das Klima radikal geändert haben muß. Es existieren zwar einige 100 km große Meteoritenkrater auf der Erde, nur lassen sich diese zeitlich nicht einordnen. Der zugehörige Krater fehlt noch. Nun wissen wir, daß ein Großteil der Erde von Wasser bedeckt ist und ein Meteoriteneinschlag in Wasser nicht unbedingt einen Krater am Meeresboden erzeugen würde. Es würde jedoch viel Wasser verdampfen mit nachhaltigem Einfluß auf das Klima.

Das Bombardement in der Zeit vor 4 Milliarden Jahren war weitaus heftiger als in der Folgezeit. Dieses Bombardement muß zum Teil die Erdkruste durchschlagen und zerstört haben. Mehrere 1000 km große Krater haben sicherlich 50 -100 km tiefe Wirkung ins Erdinnere erzeugt. Deshalb konnte die Erdkruste bis vor ca. 4 bis 3,8 Milliarden Jahren nicht stabil gewesen sein, sondern wurde zumindest in Teilen immer wieder zertrümmert.

Nach den Bemerkungen zum Erdmond soll nun ein Exkurs durch das Sonnensystem folgen.

Wir beginnen beim <u>Merkur</u> und gehen von dort hinaus in die äußeren Bereiche des Sonnensystems. Es werden die planetaren Objekte im einzelnen vorgestellt und dazu Kartenbeispiele gezeigt.

Abbildung 13 :

1974/75 ist die Mariner-10-Mission am Merkur vorbeigeflogen, nachdem sie zuvor die Venus passiert hatte. Das Bild von der Wolkenhülle von Venus, das ganz am Anfang zu sehen war (Abb. 2), stammt von dieser Mission. Zum allgemeinen Erstaunen fand man auf dem Merkur eine ganz mondähnliche Oberfläche mit vielen Einschlagskratern vor. Auf dieser Abbildung ist die Südpolgegend des Merkur dargestellt, die dicht von Kratern bedeckt ist. Das Alter dieser Oberfläche wird auf 3,8 bis 4,5 Milliarden Jahre geschätzt. Vor der Mariner-10-Mission wußte man vom Merkur sehr wenig. Von dem, was man zunächst angenommen hatte, war vieles falsch. Das einzig Wesentliche, das sich tatsächlich als richtig erwiesen hat, war die Umdrehungsdauer des Merkur. Sie war kurz vor der Mission astronomisch bestimmt worden, und zwar im wesentlichen aus Radarmessungen von der Erde her. Die Umdrehung des Merkur befindet sich in einer 2/3-Resonanz mit seiner Umlaufdauer, d.h. er dreht sich in 55 Tagen einmal um sich selbst, während er in 88 Tagen die Sonne umrundet. Dieser Zyklus hat auch zur Folge gehabt, daß, obwohl man dreimal am Merkur vorbeigeflogen ist, immer wieder die gleiche Seite unter den gleichen Beleuchtungsbedingungen gesehen wurde und aus diesem Grunde nur 40 % der Oberfläche des Merkur erfaßt werden konnte.

Abbildung 14 :

Auf dem Merkur gibt es, wie auf dem Erdmond, ebenfalls große Einschlagbecken. Hier ist das Caloris-Becken von 1300 km Durchmesser zu sehen (Pfeile zeigen den halben Durchmesser). Die dunklere Füllung ist höchstwahrscheinlich durch vulkanische Aktivität entstanden. Sie ist mit 3,8 Milliarden Jahren - wie ich kürzlich aufgrund teils empirischer, teils theoretischer Überlegungen herausgefunden habe - jünger als der größte Teil der übrigen Oberfläche des Merkur.

Abbildung 15 :

Das ist eine Blatteinteilungs-Übersicht der kartographischen Abbildung des Merkur für den Maßstab 1 : 5 Millionen. Wie erwähnt, ist nur die eine Hälfte des Merkur bekannt. Es ist auch nur ein Teil der Polargebiete abgedeckt. Zur vollen kartographischen Abdeckung wäre dringend ein polarer Merkur-Orbiter nötig.

Die kartographische Wiedergabe der Merkuroberfläche im Maßstab 1 : 5 Mill. erfolgt vermittels einer Serie von 15 Kartenblättern, von denen aber nur 9 Merkurtopographie enthalten. Der Rest ist datenmäßig noch nicht erfaßt. Die benutzten Aufnahmen stammen ausschließlich von der Mariner-10-Mission. Für die



Merkur - Caloris Becken





Merkur - Kartenausschnitt

Abb. 16

kartographische Darstellung des Merkur zwischen 65° N und 65° S wird die Merkatorabbildung verwendet, die Polkappen nördlich und südlich der 55° Breitenparallelen werden durch eine Polar-Stereographische Projektion abgedeckt.

(Abbildung aus: Atlas of Mercury, 1:15 Mill., Topographic series, H15 M 1 RM, Ausgabe 1979, USGS)

Die Planetenexploration ging derart vor sich, daß man am Anfang versucht hat, Vorbeiflüge zu lancieren. Dann versuchte man, einen Orbiter zu machen. Ein volles Programm der Planetenexploration ist bisher nur beim Erdmond durchgeführt worden. Angefangen hat es mit Vorbeiflügen, dann kamen die Rangersonden mit harten Landungen. Sie wurden einfach auf den Mond geschossen mit Ziel, möglichst viele Daten vor dem harten Aufprall zu sammeln. Später hat man orbitale Missionen durchgeführt, die bis zur Landung und Probenrückführung gingen. Beim Mars war es ganz ähnlich, bis hin zu unbemannten Landungen, jedoch mit Ausnahme bemannter Landungen und Probenrückführungen. Dieses Ziel hat man bisher bei keinem anderen Planeten erreicht. Insbesondere beim Merkur steht man mit Vorbeiflügen noch ganz am Anfang.

Abbildung 16 :

Der hier gezeigte Kartenausschnitt des Merkur hat einen Äquator-Maßstab von 1 : 15 Mill. Die zugrundeliegende Auflösung ist in der Größenordnung um 1 km oder ein paar km. Mit höherer Auflösung wurde Merkur nur in wenigen Prozent seiner Oberfläche abgedeckt.

Die Topographie der Merkuroberfläche erscheint als Schattierungsrelief in Luftpinseltechnik bei Lichteinfall von Westen. Höhenangaben fehlen. Der Kartenausschnitt entstammt dem "Atlas of Mercury 1:15 Mill., Topographic series, H 15 M, 1 RM, Ausgabe 1979, USGS."

Abbildung 17 :

Der Planet <u>Venus</u> ist von einer dichten Wolkenhülle bedeckt, die einen Blick auf die Oberfläche unmöglich macht. Mittels Radarbeobachtung von der Erde aus und durch die Pioneer-Venus-Mission, die ein Radar-Altimeter an Bord hatte, ist die Oberfläche der Venus seit kurzem mit einer räumlichen (lagemäßigen) Auflösung von 50 – 100 km topographisch erfaßt. Die Höhenauflösung beträgt global 0,5 - 1,0 km. Zwischen benachbarten Punkten einer Radar-Bodenspur kann die Höhenauflösung 60 m erreichen. Etwa 70 % der Venusoberfläche sind abgedeckt. Die Abbildung zeigt einen Ausschnitt aus der 3,1fach verkleinerten farbigen Höhenschichtenkarte mit Schattierungszusatz von Venus, Originalmaßstab (am Äquator) 1 : 50 Mill. (Bei der Reproduktion wurden aus verfahrenstechnischen Gründen Kartenteile des westlichen und östlichen Randbereiches ausgespart).

(Aus: Atlas von Venus 1:50 Mill., Topographic series, V 50 M 6 / 60 RKT, Ausgabe 1981)

Die Höhenstufen des Venusreliefs sind farbkodiert wiedergegeben: Unterhalb von 5 km Höhe, wo der Farbton von rotbraun in gelbgrün bis blauviolett umschlägt (5 km Höhe bezogen auf den mittleren Radius), entspricht jeder Farbschritt einer Höhendifferenz von 1/2 km, darüber einer Höhendifferenz von 1 km.

Die Oberfläche von Venus stellt sich in der Karte derart dar, daß der überwiegende Teil (blaue und blauviolette Stufenflächen-Töne) ein tiefliegendes Hügelland kennzeichnen. Kleinere kontinentalartige Massen erscheinen in helleren Grüntönen mit gelb bis rot. Ein solches Gebiet bei ca. 105° E und 10° S (Aphrodite Terra) hat die Größe von Afrika. Die erkennbaren Kontinente tragen zum Teil sehr hohe Gebirge. Dies überrascht, denn man hatte angenommen, daß sich durch die hohen Oberflächentemperaturen das Relief nivellieren würde. Das ist aber nicht der Fall, möglicherweise wegen des fehlenden Wassers (Venus besitzt nur ca. 10⁻⁵ des irdischen Wassergehalts an der Oberfläche bzw. in der Atmosphäre).

Die Gebirge bei 0° Länge und 65° Breite, die Maxwell Montes des "Kontinentes" Ishtar Terra, benannt nach dem englischen Physiker Maxwell, sind 12 km








hoch (12 km über dem mittleren Radius). Man glaubt auch Schildvulkane auf der Venus entdeckt zu haben, die durchaus denen vergleichbar oder größer sind, wie es sie auf dem Planeten Mars gibt.

Zur Namensgebung: Es gibt nur einen männlichen Namen auf der Venus, nämlich der von Maxwell, sonst sind alle Namen weiblichen Ursprungs.

Das Überraschende der Venustopographie war die Entdeckung der "Kontinentalmassen". Auf den anderen Planeten, mit Ausnahme der Erde, hat man nichts dergleichen gefunden. Die Spekulationen gehen jetzt dahin, ob Venus etwa Plattentektonik aufweist. Phänomene wie Platten-Subduktionen hat man bisher nicht mit Sicherheit entdeckt, eventuell wegen unzureichender räumlicher Auflösung. Diese Detailfragen wird man erst beantworten können mit einer orbitalen Radarmission, die sich auf amerikanischer Seite in Planung befindet. Mit solch einer Mission beabsichtigt man, die Oberfläche von Venus mit 1 km räumlicher Auflösung total abzudecken. Erst dann werden wir voraussichtlich erfahren, was es mit der Tektonik von Venus auf sich hat.

Wir wissen heute noch nicht, ob es Einschlagskrater auf Venus gibt. Es sind einige runde Strukturen identifiziert worden, die von einigen Autoren als Einschlagskrater interpretiert werden. Das ist aber nicht sicher. ¹) Venus ist folglich immer noch von vielen Geheimnissen umgeben. Mit der Radarabtastung ist der erste umfassende Blick auf ihre Oberfläche gelungen.

Abbildung 18 :

Gehen wir weiter zum Planeten <u>Mars</u>. Bei dieser Abbildung handelt es sich um eine geologische Karte des Mars im Originalmaßstab 1 : 25 Mill. (in der Abbildung 2,7fach verkleinert), die sich zur Vorstellung der Großstrukturen eignet.

¹⁾ Inzwischen (Anfang 1984) sind durch die sowjetischen Venus-Radar-Missionen Venera 15 und 16 zahlreiche Einschlagskrater und auch eine Reihe vulkanisch-tektonischer Phänomene mit einer Bodenauflösung von einigen Kilometern identifiziert worden.

Mars teilt sich ähnlich wie der Mond in zwei ganz verschiedene Hemisphären: Hochland und Tiefland. Auf dieser geologischen Karte ist das sogenannte südliche Hochland in Braun- und Violett-Tönen dargestellt. Es handelt sich um ein sehr altes Gebiet mit vielen Einschlagskratern, ähnlich wie beim Erdmond. Die größten Einschlagskrater (Ringbecken mit Wällen, dunkelbraun) sind mehr als 4 Milliarden Jahre alt. Nördlich vom Hochland schließen sich Tiefebenen in den Farben Ocker, Grün und Grüngelb an, die sogenannten Planitiae, die sehr viel jünger sind und die ähnlich den Maregebieten des Mondes interpretiert werden, wonach dich die tiefliegenden Gebiete mit Lava aus wahrscheinlich basaltischem Material gefüllt haben.

Daneben kommen auf dem Planeten Mars noch einige andere Großstrukturen vor, die es auf dem Mond nicht gibt und auf der Erde ebenfalls nicht in dieser Grössenordnung. Das Gebiet zwischen ca. 40° südlicher und 30° nördlicher Breite sowie 60° und 150° westlicher Länge zeigt eine etwa 3 km hohe Aufwölbung gegenüber dem mittleren Radius. Auf der Aufwölbung sitzen, intensiv rot gezeichnet, riesige Schildvulkane mit bis zu 600 km Basisdurchmesser und 25 km Höhe. Die Aufwölbung ist zerteilt durch einen riesigen Grabenbruch, der etwa parallel zum Äquator verläuft (dunkelgrüne und leuchtend blaue Farbtöne), mit einer Länge von 5000 km, einer mittleren Breite von 200 km und einer Tiefe von etwa 5 – 7 km. Hier hat sich eine umfangreiche vulkanisch-tektonische Aktivität abgespielt, die zum Aufbau von Schildvulkanen über mehrere Milliarden Jahre geführt hat. Diese Vorgänge haben in einem Umfang stattgefunden, wie sie auf der Erde außer der Plattentektonik mit Öffnung der Ozeane nicht bekannt sind.

Abbildung 19 :

Hier ist ein Ausschnitt aus der zuvor beschriebenen geologischen Karte des Mars wiedergegeben. Der Originalmaßstab der Karte beträgt 1 : 25 Mill. (Äquatormaßstab der Merkatorprojektion). Die Wiedergabe ist 1,5fach verkleinert. Man sieht am unteren Rand und in der rechten Bildhälfte einen Teil des alten Hochlandes (braun, violett) und in der Bildmitte den großen Grabenbruch (Valles Ma-



Geologische Karte des Mars – Ausschnitt







Mars – Olympus Mons

rineris), der sich zur nördlichen Tiefebene hin öffnet. Dort an der Mündung in die Ebene ist Viking 1 gelandet (22,5° N und 48,0° W – siehe Pfeil), weil man dachte, dort sei einst Wasser geflossen. Auf der Suche nach Leben war dies eine wesentliche Voraussetzung. Flüssiges Wasser existierte wahrscheinlich auf der Marsoberfläche vor mehr als 3 Milliarden Jahren; Leben wurde aber an den Viking-Landestellen nicht gefunden. Der Marsboden ist im Gegenteil sehr steril, und das ist auch kein Wunder, denn die CO₂-Atmosphäre des Mars ist recht transparent für ultraviolette Strahlung. Sollte Leben existieren, muß es sich schon gut vor der UV-Strahlung verbergen, zum Beispiel unter Steinen oder tiefer unter der Oberfläche. Spekulationen darüber halten heute natürlich noch an. Diese Spekulationen führen vielleicht irgendwann noch einmal zu einer größeren Marsmission, um dem Leben auf dem Planeten Mars wirklich auf die Spur zu kommen. Schlecht wäre es nicht, denn Mars ist ein sehr interessanter Planet mit vielen geologisch/geophysikalisch interessanten Eigenschaften.

Abbildung 20 :

Abbildung 21 :

Die Abbildungen zeigen zwei der größten Marsvulkane, Olympus Mons (Abb. 20) und Arsia Mons (Abb. 21). Diese Marsvulkane mit bis zu 600 km Basisdurchmesser und 25 km Höhe sind in ihren Ausmaßen individuell vergleichbar mit der gesamten Hawaii-Inselgruppe (Die Hawaiianischen Schildvulkane bilden einen der größten vulkanischen Komplexe der Erde). Wir wissen bis heute noch nicht, ob die Aktivität dieser Marsvulkane bis vor kurzem angedauert hat oder schon lange zu Ende ist. Ich zumindest bin ein Vertreter der Interpretation - und die Daten deuten darauf hin - , daß die vulkanische Aktivität spätestens vor einigen 100 Millionen Jahren zum Erliegen gekommen ist. Aber ganz sicher ist das nicht, denn es liegt keine echte Altersbestimmung in Form von Messungen an Gesteinen vor, sondern nur indirekte Schlüsse aus Einschlagskratermessungen, die besonders bei diesen jungen Altern mit einer gewissen Unsicherheit behaftet sind.

Abbildung 22 :

Auf der Abbildung ist ein Teil des Kasei Vallis (Mars) mit Fließstrukturen zu sehen. Es handelt sich um eine Erosionsform, die entweder durch fließendes Wasser oder Gletschereinwirkung oder eine Kombination von beiden hervorgerufen wurde.

Der Größe nach ist Kasei Vallis eine der herausragenden Strukturen, wie Abbildung 19 erkennen läßt. Aber es gibt auf dem Mars viele solcher Erosionsstrukturen, die darauf hindeuten, daß Wasser oder Eis in großer Menge vorkam. Neben der Erosion durch Wasser oder Gletscher hat der Wind seine Spuren hinterlassen. Die Aktivität des Windes ist in den polaren Zonen am größten. Dort gibt es riesige Feinmaterialablagerungen, die als Dünen anzusprechen sind, ähnlich wie in den Wüstengebieten der Erde. Um solche Mengen an Material zu bewegen, muß die Atmosphäre des Mars früher wesentlich dichter gewesen sein mit mindestens 30 mbar Oberflächendruck. Man hat Rückschlüsse gezogen, daß dies vor mehr als 1 bis 2 Milliarden Jahren noch der Fall war. Heute würde der Oberflächendruck nicht ausreichen, um Wasser fließen zu lassen oder Sanddünen in größerem Ausmaß zu bewegen. Der heutige Atmosphärendruck am Boden, bezogen auf den mittleren Radius des Mars, liegt in der Nähe des Tripelpunktes des Wassers, das sind 6,6 mbar. Eis geht bei diesem Druck sofort in den gasförmigen Zustand über. Fließendes Wasser wäre heute nur sehr begrenzt in den tiefsten Canyons möglich, z.B. im Valles Marineris.

Der Planet Mars ist inzwischen aufgrund verschiedener Missionen sehr gut kartographiert. Die geologischen Karten, die in den Abbildungen 18 und 19 gezeigt werden, sind auf der Grundlage von Bilddaten der Mariner-9-Mission entstanden. Mariner 9 war der erste Orbiter, der Mars global mit ca. 1 km räumlicher Auflösung abgedeckt hat. Heute, nach der Viking-Mission, die den Planeten 1976 erreichte, sind immerhin 90 % der Oberfläche des Mars mit einer Auflösung von 100 bis 150 m abgedeckt und 98 % der Oberfläche mit einer Auflösung von 500 m und besser. Dies ist durchaus vergleichbar mit manchen Unterlagen, die man von der Erde hat. Mars ist durch die Viking-Mission nach der Erde und dem Mond der besterforschte Planet im Sonnensystem.





Abb. 23

Über die topographische Erfassung des Planeten Mars wird unter Abbildung 42 und 44 Näheres berichtet.

Abbildung 23 :

Ich habe beim Erdmond die Möglichkeit der Altersbestimmung aus Bilddaten herangezogen. Dieses Verfahren kann auch für Mars verwendet werden. Dabei handelt es sich im wesentlichen um die Extrapolation der Einschlagschronologie des Mondes auf den Planeten Mars. Aufgrund unterschiedlicher Verfahrensweisen und Randbedingungen erhält man gewisse Divergenzen in der Interpretation. Im Diagramm der Abbildung 23 ist die Häufigkeit von Einschlagskratern zwischen 4 und 10 km Durchmesser als Funktion des absoluten Alters der Flächen, auf denen die Krater entstanden sind, aufgetragen. Dadurch ist eine empirische Korrelation zwischen Kraterhäufigkeit und Exponierungsalter bzw. Entstehungsalter der Oberflächen (Oberflächenformen) gegeben. Mittels solcher Einschlagschronologie-Modelle (Cratering Chronology Models) können allgemein absolute Alter von Planetenoberflächen bzw. von Teilen derselben, die Einschlagskrater aufweisen, bestimmt werden. Gemessene Kraterhäufigkeiten lassen sich über die gezeigten Kurven in absolute Alter umsetzen, die je nach Modell etwas variieren können. Wir favorisieren die in der Abbildung gezeigten zwei unteren Kurven, von denen die obere gestrichelt ist.

Aus einer Fülle von Einschlagskrater-Häufigkeitsmessungen hat sich unter Anwendung der Beziehungen von Abbildung 23 ein Bild der geologischen Entwicklung des Planeten Mars herauskristallisiert, wie es in den Abbildungen 24/25 gezeigt ist. Einmal ist dabei die gestrichelte Kurve von Abbildung 23 angewendet worden (Modell II, Abb. 25), zum anderen die darunter liegende Kurve (Modell I, Abb. 24).

Abbildung 24 :

Abbildung 25 :

Die größten Aktivitäten auf dem Planeten Mars spielten sich vor mehr als 1,5 bis 3 Milliarden Jahren ab. Es handelte sich um vulkanische Aktivität, um das Fließen von Wasser u.a. Die letzte, sehr ausgedehnte vulkanische Aktivität mit der Bildung des Olympus Mons und seiner Nachbarn hat bis in die jüngste Zeit angehalten, d.h. wahrscheinlich bis vor einigen hundert Millionen Jahren. Ein gutes Indiz dafür, daß vor einigen Milliarden Jahren das Fließen von Wasser aufgehört haben muß, liegt darin, daß man aus den Isotopen-Messungen an Bestandteilen der Marsatmosphäre errechnen kann, wann der Atmosphärendruck auf bestimmte Werte abgefallen sein muß. Das Verhältnis von Stickstoff 15 zu Stickstoff 14 spielt hier eine besondere Rolle. Über lange Zeiträume hat die Marsatmosphäre Stickstoff 14 gegenüber Stickstoff 15 verloren. Diese Daten unterstützen stärker das letztere Modell (Modell II) der geologischen Entwicklung des Mars mit einer Unsicherheit von ca. ± 1/2 Milliarde Jahren. Diese Unsicherheit umfaßt einen sehr großen Zeitraum, aber gemessen an 4,5 Milliarden Jahren sind es nur 10 %. Wir wissen also in großen Zügen über die Chronologie der geologischen Entwicklung des Planeten Mars Bescheid.

Schauen wir uns nun die Ergebnisse der jüngsten Missionen zu den <u>äußeren Pla-</u> neten an.

Abbildung 26 :

Es handelt sich um den Durchflug der Voyager-Sonden 1 und 2 durch das Jupiter- und Saturn-System in den Jahren 1979 – 1981. Die Durchflüge, wie in der Abbildung gezeigt, erfolgten derart, daß die synchrone Rotation der Satelliten ausgenutzt wurde. Die Ankunftszeiten der Sonden wurden so gewählt, daß einmal die Mehrzahl der Satelliten auf einer Seite des Systems versammelt waren und das andere Mal auf der entgegengesetzten Seite. Dadurch konnten die Oberflächen der Satelliten zu mehr als 50 % abgedeckt werden.





Mars - Modelle der geologischen Entwicklung





Voyager 1's closest approach to Jupiter will be about 280,000 kilometers from the visible surface, as it passes between the great planet and its nearest satellite, Amalthea (hidden behind the planet in this simulated view). Closest approach to each satellite will occur as Voyager 1 passes out of the Jovian system.



Voyager 2, on a more cautious trajectory to avoid the intense planetary radiation, will pass 645,000 kilometers from Jupiter at its closest point. This flight path will cause Voyager 2 to encounter the satellites before the planet itself, as seen in this simulated view showing closest approach to each satellite.





As Voyager 1 sails through the Saturnian system, it will pass 140,000 kilometers from the ringed planet's southern polar region, and cruise past six of the ten known Saturnian satellites. This view shows the approximate position of each satellite at closest approach by the spacecraft.

Voyager 2 will gain an even closer look at Saturn. For the Uranus option trajectory, it will pass within 38,000 kilometers of the outer edge of the rings, and again will survey the same six satellites. This simulated view shows the approximate position of each satellite at closest approach by Voyager 2.

←Z)--



Abb. 27 Galileischer Mond Io – Photomosaik –

> Abb. 29 Io – Auswurfshalo



Abb. 28

lo – Lavaströme







Jupitermond – Europa

Abbildung 27 :

Wie wohl aus der Presse bekannt, gab es bei den Missionen zu den äußeren Planeten einige Überraschungen. So war der innere der Galileischen Monde, <u>Io</u>, zur Zeit des Vorbeiflugs beider Voyager-Sonden vulkanisch aktiv und ist es wahrscheinlich noch. Ein solcher, zur Zeit des Durchfluges tätiger Vulkan mit einem diffusen Halo ist hier auf dem Photomosaik des Satelliten nahe der Bildmitte zu erkennen (Pfeil). Andere vulkanische Phänomene wie Calderen oder Lavaströme sind ebenfalls zu sehen. Der Satellit Io ist etwa von der Größe unseres Erdmondes. Das von den Vulkanen ausgeworfene Material erreicht Höhen von mehreren hundert Kilometern (siehe auch Abb. 29).

Abbildung 28 :

Lavaströme von vielen 100 km sind keine Seltenheit auf Io, wie im hier gezeigten Beispiel. Das rote Material ist wohl im wesentlichen Schwefel. Die anderen Farben kommen wahrscheinlich durch die verschiedenen allotropen Formen des Schwefels in Abhängigkeit von der Erstarrungstemperatur zustande. Die weißlichen Gebiete sind als SO₂-Frostniederschlag (Schwefeldioxid-Frost) anzusprechen. Bei den Oberflächentemperaturen von ca. 140 Kelvin schlägt sich das bei den Vulkanausbrüchen gasförmig ausströmende SO₂ als Frost nieder.

Abbildung 29 :

Hier sind zwei aktive Vulkane mit ihrem Auswurfshalo (blau) wiedergegeben. Die vulkanische Aktivität des Satelliten Io führt zu meßbaren strukturellen oder Albedo-Änderungen auf seiner Oberfläche innerhalb weniger Monate, wie Vergleiche von Voyager 1- mit Voyager 2-Daten zeigen.

Abbildung 30 :

In dieser Abbildung wird der Jupitermond <u>Europa</u> mit seinen Bruchstrukturen gezeigt, die große Teile der Oberfläche überdecken. Das Oberflächenmaterial besteht im wesentlichen aus Eis. Die relativ dunklen Grautöne werden wahrscheinlich durch Beimischung von Silikaten hervorgerufen; allerdings dürften diese Grautöne nicht ganz der natürlichen Farbabstufung entsprechen. Echte Farben aus Aufnahmen mit mehreren Filtern herzustellen und sie in entsprechende Grautöne umzusetzen, ist schwierig. "Europa" ist etwa von der Größe unseres Erdmondes.

Abbildung 31 :

Das ist der Jupitermond <u>Ganymed</u>, der etwa 5000 km im Durchmesser mißt, also etwa der Größe des Merkur gleichkommt. Seine Eisoberfläche ist in große Schollen zerlegt. Tektonische Vorgänge haben die alte, dunkle Kruste aufgebrochen. Von innen hochgedrungenes Wasser ist in der Folge an der kalten Oberfläche zu hellerem Eis erstarrt. Das dunklere Oberflächenmaterial hat größere silikatische Beimischungen, das hellere Material geringere. Der Oberfläche überlagert sind junge Strahlenkrater (die hellen Flecken), wie man sie auch auf dem Mond sieht (z.B. die Krater Tycho und Kopernikus). Das auch auf dem Mond durch feine Körnung hell wirkende Auswurfsmaterial erscheint hier dadurch, daß es sich um frisches Eis handelt, noch heller. Dieses Bild ist an den Anlagen der DFVLR aus drei Voyager-Aufnahmen in verschiedenen Spektralbereichen hergestellt worden.

Abbildung 32 :

So stellt sich der Jupitermond <u>Callisto</u> mit seiner von Kratern übersäten Oberfläche dar. Die Einwirkung endogener Aktivitäten war gering, lediglich ein sehr großes, durch Einschlag entstandenes Ringbecken ist am oberen Bildrand zu sehen (Pfeil).



₹2_

Jupitermond Ganymed



Jupitermond Callisto

An dieser Stelle sollen einige Bemerkungen zur Kartographie eingeflochten werden.

Vorgestellt wurde bisher Bildmaterial aus Vorbeiflügen an verschiedenen Jupitermonden. Mit den Aufnahmedaten dieses Materials sind die Karten der Jupitermonde hergestellt worden. Als stellvertretendes Beispiel wird in Abbildung 33 eine Karte von Ganymed gezeigt. Das Bildmaterial ist mit dem Nachteil unterschiedlicher Auflösung und unterschiedlicher Beleuchtung behaftet. Dazu kommt, daß man niemals den gesamten Planeten sieht. Das alles schlägt sich als Erschwernis in der kartographischen Wiedergabe nieder.

Abbildung 33:

Abbildung 34 :

Die Karten von den Jupitersatelliten haben im wesentlichen die Maßstäbe 1:10 Mill. oder 1:15 Mill. Das ist auch allgemein ein Standardmaßstab für planetare Übersichtskarten. Als Abbildungsart wird für die Bereiche zwischen 70° Nord und 70° Süd die Merkatorprojektion, für die Polkappen ab 55° Nord/Süd die Stereographische Polarprojektion verwendet.

Bei den Jupitersatelliten wird, wie von der Internationalen Astronomischen Union für rechtsläufig im Drehsinn der Erde sich drehende Planeten und Satelliten festgelegt, ein nach Westen (entgegen dem Drehsinn des Planeten) von 0° - 360° Länge laufendes Koordinatensystem angewandt. Der Nullpunkt entspricht etwa dem Punkt auf der Oberfläche der Jupitersatelliten, der bei 0° Breite (durch die Drehachse definiert) dem Mutterplaneten direkt gegenüber liegt. Die Festlegung ist eindeutig, da die Galileischen Satelliten des Jupiter, ähnlich wie unser Erdmond, ihrem Mutterplaneten immer die gleiche Seite zuwenden.

Nun sei ganz allgemein die Festlegung von kartographischen Koordinaten bei Planeten und Satelliten angesprochen. Die kartographische Position eines Punktes auf der Oberfläche eines Planeten oder Satelliten wird durch dessen Breite und Länge bestimmt. Da alle Planeten und Satelliten rotieren, definiert die Rotationsachse den Nord- und Südpol eines Himmelskörpers. Der Nordpol eines Planeten oder Satelliten ist jener Pol der Rotationsachse, der auf der Nordseite der unveränderlichen Ebene (Ekliptik) des Sonnensystems liegt. Der Äquator eines Planeten oder Satelliten wird definiert als die Ebene, die senkrecht auf seiner Rotationsachse steht und durch seinen Massenmittelpunkt geht. Beim Studium der Planeten und Satelliten verwendet man zwei verschiedene Koordinatensysteme: das planetozentrische und das planetographische Koordinatensystem. Planetozentrische Koordinatensysteme. Planetographische Koordinatensysteme werden für kartographische Zwecke verwendet.

Die Breiten bestimmter Punkte werden nördlich und südlich des Äquators angegeben; nördliche Breiten werden positiv angenommen, südliche negativ. Die planetozentrische Breite eines Punktes ist der Winkel zwischen Äquator und der Linie, die den Punkt mit dem Massenmittelpunkt des Planeten oder Satelliten verbindet. Die planetographische Breite ist der Winkel zwischen Äquator und der Normalen zur Referenzoberfläche in diesem Punkt. Die Referenzoberflächen für die meisten Planeten sind Sphäroide, für die der Äquatorradius größer ist als die polare Halbachse. In der Gruppe der terrestrischen (erdähnlichen) Planeten und der Jupiter- und Saturnsatelliten wird in der Regel exakte Kugelform angenommen, mit Ausnahme von Erde und Mars.

Die Länge von Punkten wird in der Äquatorebene vom Nullmeridian aus von 0° bis 360° festgelegt. Die planetozentrische Länge wird ostwärts als positiv angenommen. Die planetographische Länge ist positiv in der entgegengesetzten Rotationsrichtung des Planeten oder Satelliten, d.h. die westliche Richtung ist positiv, wenn sich der Planet oder Satellit rechtsläufig (prograd) wie die Erde dreht, wie dies die meisten Planeten und Satelliten des Sonnensystems tun (Ausnahme: Venus, Uranus). Für Venus und Uranus ist also die östliche Richtung die positive Richtung der planetographischen Länge. Bei Erde und Mond wird die planetographische Länge meistens von 0° bis 180° östlich und westlich des Nullmeridians gezählt.



Jupitermond Ganymed – Kartenausschnitt

Abb. 33

Der Nullmeridian eines Planeten oder Satelliten wird auf unterschiedliche Art definiert. Wenn möglich, wird die Position des Nullmeridians durch eine markante Einzelheit auf der Oberfläche gekennzeichnet. Wenn keine entsprechenden Einzelheiten bekannt sind, wird dem Nullmeridian eines Planeten der Wert 360° oder irgendein anderer Wert zu einem Standardzeitpunkt (1. Januar 1950 – Julianisches Datum 2 433 282.5 oder 1.5 Januar 2000 – Julianisches Datum 2 451 545.0) in einem Koordinatensystem zugeordnet, das durch die allgemeinen Sternkoordinaten Rektaszension und Deklination definiert ist.

Für die Monde der Planeten wird der Nullmeridian definiert durch den subplanetaren Schnittpunkt des Satellitenäquators mit der Ebene, die den Satelliten, den Mutterplaneten und die Sonne enthält und zwar zum Zeitpunkt der ersten oberen heliozentrischen Konjunktion des Mutterplaneten und des Satelliten nach dem Standardzeitpunkt. Für die synchronen Satelliten, deren Rotationsachse senkrecht auf der Bahnebene steht, geht der Nullmeridian also durch den planetennächsten Punkt des Satelliten. Für die regulären Jupiter- und Saturn-Satelliten wird die Verbindungsgerade zwischen den Massenmittelpunkten des Mondes und des Mutterplaneten den Nullmeridian in Äquatornähe annähernd treffen. Die Unsicherheit in der Lage des Kartennetzes beträgt bei den Jupiter- und Saturnsatelliten allgemein etwa 20 km.

Die kartographische Abdeckung der Jupiter-Satelliten liegt zwischen ca. 50 % und 80 %, allerdings zum Teil mit sehr schlechter räumlicher Auflösung von 20 – 50 km.

In Abbildung 33 liegt als Beispiel der Ausschnitt einer Karten 1: 25 Mill. (Äquatormaßstab) des Jupitersatelliten Ganymed vor (aus "Atlas of Ganymed" 1: 25 Mill., Topographic series, Jg. 25 M 2RMN, Erscheinungsjahr 1979, USGS), in dem sich die unterschiedliche Auflösungsqualität des Bildmaterials in der Kartendarstellung widerspiegelt. Die räumliche Auflösung variiert stark. Sehr gut ist sie z.B. im rechten Teil des Kartenausschnittes. Wegen fehlender Bilddaten sind Teilbereiche häufig überhaupt nicht abgedeckt. Die Bilddaten stammen von den Voyager-Missionen 1 und 2. Die aus diesen Missionen gewonnenen und kartographisch für die Galileischen Satelliten verwendeten, qualitativ unterschiedlichen Daten sind in Abbildung 34 wiedergegeben.

Es ist oft eine sehr schwere Aufgabe für Kartographen, aus Bilddaten unterschiedlicher Qualität (siehe Abb. 34) noch ordentliche Karten herzustellen. Das ist dem U.S.G.S. auf seine Art mit der Luftpinseltechnik (Airbrushing) gelungen. Der Kartograph "zeichnet" mit einer Art von speziellem Tuschehalter, der eine Sprühdüse hat, indem er die Bilder beim Umsetzen in die Karte interpretiert. Er muß ein großes Wissen besitzen über die Art der Oberflächenstrukturen. Zudem muß er sich diese sehr gut unter verschiedenen Bedingungen angeschaut haben. Es gibt einige qualifizierte Fachleute am U.S.G.S. in Flagstaff, die diese Karten in Luftpinseltechnik herstellen können.

Eine andere Technik, die verwendet wird, ist die der Photokarten, sogenannte Controlled Photo Mosaics. Diese Technik ist dann sinnvoll, wenn die Überdekkung und die Beleuchtungsbedingungen einheitlich waren, keine großen Bildfehler aufgetreten sind und die Auflösung in etwa gleich ist. Dann versucht man, Fernsehbilder (nur für den Mond gibt es echte Photographien), die per Computer verarbeitet und gefiltert werden, auf einen einheitlichen Maßstab zu bringen und in eine Kartenprojektion einzupassen. Man setzt das Mosaik entweder per Hand oder per Computer zusammen. Bisher war die Umsetzung per Hand die gebräuchlichste Methode, weil größere Datenmengen schwierig zu manipulieren sind und weil die Computer-Prozessierung aufwendig und teuer ist. Zur Kontrolle der Mosaike wird in beiden Fällen gewöhnlich eine größere Zahl von Paßpunkten verwendet.

Bei den Karten haben wir es also mit zwei Arten zu tun, mit den Airbrushkarten und den kontrollierten Photomosaikkarten.

Die Airbrushkarten sind normalerweise schattierte Reliefkarten (Shaded-Relief-Maps).

Wenn die Information ausreichend war, d.h. wenn man quantitative, photogrammetrisch verwendbare Daten zur Verfügung hat oder aus anderen Messungen Höheninformationen gewinnen kann (z.B. durch Messungen des Atmosphärendrucks bezogen auf einen Referenzdruck), dann ist es möglich, auch vollwertige topographische Karten mit Höhenlinien zu erstellen. Als Beispiel einer vollwertigen topographischen Karte sei auf Abbildung 44 hingewiesen.



Resolution of images available for mapping Io, Europa, Ganymede, and Callisto.

	Physikalische Daten der inneren Satelliten von Jupiter und Saturn (Smith et al., 1979, 1982)				
Satellit	Orbit (10 ³ km)	Radius (km)	Masse (kg)	mittl. Dichte (g/cm³)	max. Bild- auflösung (km/Linien- paar)
<u>Jupitersate</u>	<u>lliten</u>				
Amalthea	181	270×165×150	?	?	8
Ιo	422	1816	8.9×10 ²²	3.5	0.5-1
Europa	671	1563	4.9×10 ²²	3.0	4
Ganymed	1070	2638	1.5×10 ²³	1.9	1
Callisto	1880	2410	1.1×10 ²³	1.8	3
<u>Saturnsatel</u>	<u>liten</u>				
Mimas	186	196	3.8×10 ¹⁹	1.44±0.18	2
Enceladus	238	250	7.4×10 ¹⁹	1.16±0.55	2
Tethys	295	530	6.3×10 ²⁰	1.21±0.16	2
Dione	377	560	1.1×10 ²¹	1.43±0.06	3
Rhea	527	765	2.3×10 ²¹	1.33±0.09	1
Titan	1222	2575	1.4×10 ²³	1.88±0.01	1
Hyperion	1481	205×130×110	1.1×10 ²⁰	?	9
Iapetus	3561	730	1.9×10 ²¹	1.16±0.09	17
Phoebe	12954	110	?	?	38

Abbildung 35 :

Mit dieser Tabelle sollen Details über die Jupiter- und Saturnsatelliten vorgestellt werden.

Die prominenten Mitglieder des Jupitersystems sind die Galileischen Monde Io, Europa, Ganymed und Callisto. Für das Saturnsystem sind es die inneren regulären Saturnsatelliten. Die Tabelle enthält Angaben üben deren jeweilige Radien, Abstände, Masse und Dichte. Die Dichte der Jupitersatelliten fällt von innen nach außen stark ab, von 3,5 g/cm³ für lo zu etwa 1,8 g/cm³ für Callisto. Das bedeutet, daß Wasser ein wesentlicher Bestandteil von Ganymed und Callisto sein muß. Darauf deutet auch die Eisoberfläche hin. Man nimmt an, daß auch heute noch ein "Mantel" aus flüssigem Wasser unter der Eiskruste existiert oder zumindest in den ersten paar 100 Millionen Jahren nach Bildung des Mondes existierte. Möglicherweise ist jedoch der "Mantel" inzwischen zu Eis erstarrt. Von der Theorie her ist beides möglich, aber die thermischen Modelle passen besser für einen heute noch flüssigen Mantel. Die zur Zeit gängigen Modelle der thermischen Entwicklung ergeben für Ganymed und Callisto eine etwa 100 km dicke Eiskruste über einem Mantel aus flüssigem Wasser, der mehrere 100 km mächtig ist. Der Mond Europa mit 3 g/cm³ mittlerer Dichte besitzt wahrscheinlich eine 50 – 100 km mächtige Eiskruste.

Die Dichten der Saturnsatelliten mit Werten von 1,1 – 1,4 g/cm³ liegen so nahe bei der Dichte von Eis, daß sie zum überwiegenden Teil daraus bestehen müssen. Es handelt sich also um große "Eisbälle" von einigen 100 bis einigen 1000 km Durchmesser. Eine Ausnahme macht der Mond Titan mit 1,9 g/cm³, ähnlich in Dichte und Größe dem Jupitermond Ganymed.

Bei den Durchflügen der Voyager-Sonden wurde ein Großteil der Oberflächen dieser Monde durch die mitgeführten Vidicon-Kameras aufgenommen. Eine große Enttäuschung gab es leider bei Titan, der von einer dichten Atmosphäre umgeben ist. Aufgrund teleskopischer Daten hatte man eine Methanatmosphäre vermutet. Es handelt sich jedoch um eine überwiegend aus Stickstoff bestehende Atmosphäre mit Beimischung von Methan und anderen organischen Verbindungen. Hier steht

man vor dem ewig gleichen Problem. Die Interpretationen hängen in erster Linie davon ab, was spektroskopisch nachweisbar ist, und man sah die Methanabsorptionsbanden in den spektroskopischen Messungen von der Erde her. Stickstoff ist spektroskopisch sehr schwer nachweisbar, auch wenn er in großen Mengen vorkommt.

Alle anderen Saturnmonde haben keine Atmosphäre und die Oberflächen stellen sich dar, wie man sie in den nächsten Abbildungen sieht, im allgemeinen dicht von Einschlagskratern bedeckt.

Abbildung 36 :

Der Saturnmond <u>Mimas</u>: Er mißt etwa 400 km im Durchmesser und ist einer der am dichtesten mit Einschlagskratern bedeckten Saturnmonde.

Abbildung 37 :

Ein ähnliches Bild ergibt sich für den Saturnmond <u>Tethys</u>. Er ist ebenfalls von sehr vielen Kratern bedeckt. Auf Tethys wie auf Mimas sind Oberflächen zu sehen, die wahrscheinlich 4 bis 4,5 Milliarden Jahre alt sind, d.h. wir werfen einen Blick zurück auf die Zeit kurz nach ihrer Entstehung.

Abbildung 38 :

Der Saturnmond Enceladus erlebte in seiner Entwicklungsgeschichte größere geologische Aktivitäten. Man erkennt große Flächen, auf denen nur wenige Krater zu sehen sind. Dort wurde Krustenmaterial aufgeschmolzen und verjüngt, wahrscheinlich infolge Aufheizung durch radioaktive Elemente. Saturnmond Mimas



Abb. 36

Saturnmond Tethys



Saturnmond Enceladus



Saturnmond Tethys

Nun zu den kartographischen Ergebnissen der Saturnmonde.

Die Qualität der Karten dieser Monde ist geringer als dies bei den Karten der Galileischen Satelliten des Jupiter der Fall ist. Hauptsächlicher Grund der schlechteren Kartenqualität ist die geringere räumliche Auflösung des Bildmaterials.

Abbildung 39 :

Von den Saturnmonden ist <u>Tethys</u> am besten abgedeckt, obwohl es auch da große Lücken gibt, z.B. am Südpol. Die beste räumliche Auflösung (5 – 10 km) liegt im Bereich von etwa 15° Breite und 320° westlicher Länge. In den anderen Teilen liegt die Auflösung bei 10 bis 40 km.

Die Karte ist dem "Atlas of the Saturnian Satellites", 1:10 Mill. (Äquatormaßstab) entnommen und wird als "Vorläufige Bildkarte der Tethys" bezeichnet. Es handelt sich um eine schattierte Reliefkarte (Airbrush-Karte) in Merkatorprojektion. Die Polkappen ab 55° S bzw. N sind in Polar-Stereographischer Projektion abgebildet.

Abbildung 40 :

Hier ist der Saturnmond <u>Enceladus</u> ("Vorläufige Bildkarte" 1:5 Mill.) mit dem durch die Voyager-Missionen abgedeckten Teil der Oberfläche, die im Bereich von -30° bis +30° Breite sowie 240° bis 330° westlicher Länge nur von wenigen Kratern bedeckt ist, zu sehen. Es handelt sich, wie erwähnt, um ein relativ junges Gebiet, in dem die Kruste zwischenzeitlich aufgeschmolzen war. Die Pole des Mondes sind nur zu einem geringen Teil erfaßt.

Die Karte trägt die Bezeichnung SE 5M 1AN (Erklärung der Bezeichnung: Saturn/Enceladus, 1:5 Mill., 1. Ausgabe, Albedomarkings, Nomenklatur). Es sollen nun die Aspekte der planetaren Kartographie etwas zusammenfassender dargestellt werden. Welche Aufgabe hat sie? Welche Weltraumobjekte will man kartographieren und wie weit ist man mit dieser Aufgabe gekommen? Die folgenden Einzelheiten sind im wesentlichen einer Arbeit von Dr. Batson, dem Hauptverantwortlichen des planetaren Kartographie-Programms des U.S. Geological Survey in Flagstaff, Arizona, entnommen. Art und Zustand der kartographischen Darstellung werden zusammenfassend in Abbildung 41 diskutiert.

Abbildung 41 :

Hier ist die kartographierbare Oberfläche der Planeten des Sonnensystems im Vergleich zur Oberfläche der Erde dargestellt. Die Landfläche der Erde ist vergleichbar der Gesamtoberfläche des Mars. Wir haben folglich in der Kartographie des Mars von der Überdeckung her eine Aufgabe zu lösen, die derjenigen der Kartierung der Landoberfläche der Erde gleichkommt. Obwohl ein großes Unterfangen, ist diese Aufgabe inzwischen recht gut vorangekommen. Dies ist vor allem durch die Bilddaten der Viking-Mission ermöglicht worden mit der Herstellung von Karten sehr hoher Qualität. Das Programm der Mars-Kartographie auf der Basis dieses Bildmaterial ist zur Zeit eine der hauptsächlichen Aktivitäten des U.S.G.S. in Flagstaff.

Abbildung 42 :

Mars:

Für die kartographische Abbildung von Mars im Maßstab 1:5 Mill. und 1:2 Mill. wird dessen Oberfläche über eine Zylinder- sowie Kegelprojektion in "Quadrangles" unterteilt. Diese Quadrangles haben Namen wie Hippokrates, Phoenicis Lacus, Tharsis u.a. Zwischen +30° und -30° Breite sind es gewöhnlich zylindrische, bis +65° und -65° Breite konische Quandrangles. Die Pole sind Kreisflächen in stereographischer Projektion.



Saturnmond Enceladus


Abb. 41







Resolution of images available for mapping Marcury, Venus, the moon, and Mars. As the term is used here, resolution is the size of a picture element on the surface of the planet.

Es ist vorgesehen, den Planeten mit Hilfe von Viking-Daten vollständig im relativ großen Maßstab von 1:2 Mill. abzubilden. Die Qualität der Daten ist sehr gut. An einigen Stellen, vor allem an Landestellen, sind Karten bis zum Maßstab 1:100 000 erstellt worden oder in Bearbeitung.

Der Mond :

Das Mondprogramm gilt derzeit als abgeschlossen. Es werden heute keine neuen Mondkarten mehr hergestellt. Der Mond ist durch die zuvor genannten Missionen kartographisch recht gut abgedeckt. Durch die Apollo-Missionen gibt es ausgezeichnete Karten von ca. 10 % der Mondvorderseite sogar im Maßstab von 1 : 250 000 bis 1 : 25 000.

Wie sieht es bei den anderen Planeten aus?

Venus :

Eine sehr große Aufgabe wird die Kartographie des Planeten Venus sein. Denn hier haben wir eine Oberfläche, die vergleichbar ist mit der Gesamtoberfläche der Erde. Es muß also eine ganze Menge Bildmaterial verarbeitet werden, wenn es zur Venus-Radar-Mission kommt. Die Datenmenge macht sich zum Beispiel auch darin bemerkbar, daß die Datenraten in die Größenordnung Megabit/Sekunde kommen. Dies ist eine um den Faktor 10 – 100 höhere Datenrate als bei sonstigen planetaren Missionen.

Das Jupitersystem :

Die Oberfläche der Galileischen Satelliten ist zusammengenommen größer als die Oberfläche der Landmasse der Erde.

Das Saturnsystem :

Der dominierende Mond ist Titan. Die Fläche der anderen Monde, die alle sehr klein sind, trägt wenig zur Flächenmehrung bei.

Das Uranussystem :

Die kartographisch zu erfassende Fläche ist ebenfalls wegen der geringen Größe

73

der Monde klein im Vergleich zu den anderen planetaren Objekten.

Merkur :

Die Oberfläche des Planeten Merkur ist kleiner als die des Mars, etwa um den Faktor 0,5. Die Kartographie des Merkur würde eine Aufgabe darstellen, die vergleichbar wäre mit der Kartographie der Hälfte der Landoberfläche der Erde.

Das bis heute Erreichte stellt sich so dar :

Die Kartographie des Mondes kann als vorläufig beendet angesehen werden. Merkur ist kartographisch auch abgeschlossen. Man kennt aber nur 40 % seiner Oberfläche. Leider sind für die nähere Zukunft keine weiteren Missionen geplant. Die Oberfläche der Venus ist durch Radardaten kartographisch bisher nur sehr grob beschrieben; gegen des Jahrzehnt wird der Planet global mit bis zu einigen 100 m räumlicher Auflösung kartierbar sein. Die Kartographie des Mars ist die zur Zeit dominierende Aufgabe.

Für die Satelliten der äußeren Planeten gibt es die ersten rohen Produkte, wie wir bereits gesehen haben. Es sind nur Teile der Oberflächen abgedeckt, und das in variabler Auflösung. Besondere Ergebnisse sind für das Jupitersystem mit der Galileo-Mission zu erwarten, an der zur Zeit schon gearbeitet wird. Ich bin selber mit engagiert. Sie wird im Jahre 1986 gestartet und uns im Jahre 1988 Bilder bringen, so daß wir dann eine komplette oder nahezu komplette Flächenabdeckung der Jupitermonde mit etwa 1 km Auflösung in schwarz-weiß und eine sehr gute multispektrale Flächenabdeckung in 3 bis 5 Farben mit etwa 2 km Auflösung haben werden. Dies wird uns einen großen Schritt in der Kartographie des Jupitersystems voranbringen.

Abbildung 43 :

Hier noch einmal zusammengefaßt die Auflösungsunterschiede für Merkur, Venus, Mond, Mars :

Bei dem eng kreuzschraffierten Gebiet hat man Bilddaten mit einer Auflösung von

0,5 km pro Bildelement verwenden können; dies trifft vor allem für den Planeten Mars und für den Erdmond zu.

Für die Venus liegen Daten mit unterschiedlicher Auflösung vor. Die Radardaten der Pioneer-Venus-Mission ergeben im wesentlichen 20 – 100 km pro Bildpunkt. Daneben gibt es einige Radaraufnahmen von der Erde aus, die eine günstigere Auflösung haben als die, welche bei der Pioneer-Venus-Mission erzielt worden ist, nämlich bis zu 6 km für wenige Prozent der Oberfläche (in der Abbildung nicht wiedergegeben). Solche Daten werden mit den großen Antennen in Amerika gewonnen; mit der Antenne in Goldstone (Kalifornien) und der Antenne in Arecibo (Puerto Rico), die in ganzes Tal überspannt.

Für den Merkur ist eine sehr unterschiedliche Auflösung vorhanden. In großen Teilen beträgt sie 0,5 – 2 km.

Abbildung 44 :

Dies Abbildung zeigt einen Ausschnitt aus einer topographischen Höhenlinienkarte des <u>Mars</u> im Maßstab 1: 500 000, wie wir solche von der Erde gewohnt sind. Die Höhenlinien (contourlines) sind mit einem supponierten Orthophoto der Tithonium-Chasma-Region kombiniert, das durch eine Licht-Schatten-Verteilung Reliefwirkung erzeugt. Topographische Höhenlinienkarten gibt es nur von Gebieten des Mars, die besonders interessieren und die mit stereoskopischen Bilddaten abgedeckt sind. Mit den Höhenlinien erhält man eine topometrische Höheninformation des Geländes. Topographische Höhenlinienkarten existieren nur von Mond und Mars. Von den vorhandenen Bilddaten dieser beiden Planeten sind aber höchstens 40 % für die Wiedergabe mit Höhenlinien geeignet.

Aus: Atlas of Mars, Topographic series 1:500 000, Tithonium Chasma, M 500K – 6/85,5 OMT, 1980.

Abbildung 45 :

Die Tabelle 1 enthält die zuvor genannten synoptischen Karten (Übersichtskarten) in den Maßstäben 1:5 Mill. bis 1:25 Mill., in einem Fall 1:50 Mill. Tabelle 2 zeigt das sogenannte systematische Quadrangle-Mapping, das gewöhnlich in Maßstäben zwischen 1:1 Mill. oder 1:5 Mill. erfolgt. Dies sind in etwa die Maßstäbe, die durch den U.S.G.S. auch weitergeführt werden, wenn neue Aufnahmen für die anderen planetaren Objekte erhältlich sein werden, die wir bislang ungenügend oder noch nicht erkundet haben. Mit dem Durchflug der Voyager-Mission durch das Uranus- (1986) und Neptun-System (1989) werden Bilddaten vorliegen, die für die Erstellung von Übersichtskarten der Monde im Maßstab 1:10 Mill. bis 1:15 Mill. genutzt werden können. Das Marsprogramm wird in den nächsten 1 bis 2 Jahren beendet. Dann wird der Planet komplett mit Kartenblättern im Maßstab 1:2 Mill. abgedeckt sein.

Jetzt möchte ich einen kurzen Einblick in einen ganz anderen Aspekt der planetaren Fernerkundung geben, nämlich in die multispektrale Aufnahmetechnik und Datenumsetzung.

Abbildung 46 :

Diese Abbildung ist eine multispektrale Viking-Aufnahme, sichtbar gemacht mit einer Vidicon-Kamera. Es handelt sich um ein sogenanntes "true colour image", d.h. eine nahezu "echte" Farbinformation, wie sie das menschliche Auge wahrnehmen würde. Die Aufnahme ist ein klein wenig kontrastverstärkt, d.h. unterschiedliche Grauwerte sind ein wenig verstärkt voneinander abgehoben.

Abbildung 47 :

Diese Abbildung zeigt eine Farbverstärkung mit Kantenschärfung, die an den Anlagen der DFVLR durchgeführt wurde. Gebiete unterschiedlicher Reflexion sind NORTH



Mars – Valles Marineris

Abb. 44

Planet	Preliminary		Final		
	scale	no. sheets	scale	no. sheets	
Mercury	1:25,000,000 <u>a</u> /	1	1:15,000,000	1	
Venus	1:50,000,000	1	TBD		
Moon	1: 5,000,000	3	1: 5,000,000	3	
Mars	1:25,000,000	1	1:15,000,000	3	
Ιo	1:25,000,000	1	1:15,000,000	1	
			1: 5,000,000	3	
Europa	1:25,000,000	1	1:15,000,000	1	
Ganymede	1:25,000,000	1	1:15,000,000	3	
Callisto	1:25,000,000	1	1:15,000,000	3	

Table 1. Synoptic maps of the Planets (other than Earth)

 $\frac{a}{Not}$ formally published - copies to Mercury Imaging Science Team only.

Planet	Scale	No. Sheets	
Mercury	1:5,000,000	<u>15a</u> /	
Venus <u>b</u> /	1:5,000,000	62	
Moon	1:1,000,000	144 <u>c</u> /	
Mars	1:5,000,000	30	
	1:2,000,000	140	
Ganymede	1:5,000,000	15	
Callisto	1:5,000,000	15	

<u>Table 2</u>. Systematic quadrangle mapping

 \underline{a} /Only nine were compiled because data was not available for the other six.

 \underline{b} /Planned for the VOIR mission.

<u>C</u>/Series not completed; 44 near side sheets done by telescopic observation, 9 of which were revised with spacecraft data; 2 farside sheets done with spacecraft data.

Mars - Multispektralaufnahme



Mars – Multispektralaufnahme farbverstärkt





Mars – Multispektralaufnahme farbverstärkt

durch "colour enhancement" (Farbstreckung) sehr deutlich voneinander unterschieden. Die dunklen Stellen bestehen aus Material, das verlagert worden ist. Es handelt sich um mäßig verwittertes Material, also Basalte, die noch nicht in Tonmineralien zerfallen sind. Die hellen Stellen in den Gelbtönen sind stärker verwitterte Basalte. Diese Gebiete geben dem Planeten Mars seine rote Farbe. Sie enthalten sehr viel Eisenoxid bzw. Eisenhydroxid. Die weißlichen Flecken, welche stellenweise etwas ins Bläuliche gehen, sind Wassereiswolken. Die dominierende Bruchstruktur im Bild ist der große Graben des <u>Mars</u>, Valles Marineris, mit etwa 200 km Breite und einer Gesamtlänge von ca. 5000 km. Er ist von einzelnen Kratern überdeckt, die alle noch etwas bläuliches, weil nur gering verwittertes Material enthalten, das durch die Einwirkung von Wind zu Sanddünen aufgeweht ist.

Abbildung 48 :

Hier ist ein weiteres farbverstärktes Bild eines anderen Teils des Valles Marineris, des großen Grabens, mit umgebendem Gelände zu sehen. Im Graben und in dessen Umgebung kommt wieder dunkel getöntes Material vor, das umgelagert worden ist. Durch Streifung (wind streaks) im umgelagerten Material wird die Windrichtung angezeigt. Hellgelbe Farbtöne lassen auf sehr stark verwittertes Material in einem Gelände schließen, das tektonische Formen zeigt und vulkanische Aktivität aufweist. In einigen Bereichen, zum Beispiel am unteren Bildrand rechts, erkennt man Wolkenschleier.

Abbildung 49 :

Dies ist eines der verblüffendsten Bilder vom <u>Mars</u>, die wir bisher verarbeitet haben. Hier ist Frost an der Marsoberfläche sichtbar (weiße Struktur, Bildmitte), der sich durch Kondensation aus der Atmosphäre niedergeschlagen hat.

Reifniederschlag ist ein Phänomen, das man sehr häufig im Winter auf der Erde erlebt. In diesem Fall gelang es zufällig, eine solche Situation auf dem Mars zu erfassen. Überlagert sieht man noch Wolken als feine Schleier. Dazu wieder die typische Zweiteilung der Marsmaterialien in unterschiedlicher Abtönung: das dunkle, wenig verwitterte Material, meistens durch Wind oder andere Prozesse transportiert, und dann das stärker verwitterte, hellere Material, das der Marsoberfläche ihren typischen Farbton gibt.

Zum Schluß sei noch ein Beispiel zur quantitativen Information vermittelt, die aus multispektralen Bilddaten gewonnen werden kann, neben solcher qualitativer Art im Sinne der Unterscheidung von einzelnen geologischen Einheiten oder Strukturen. Diese Information soll am Beispiel des Mondes vorgestellt werden. Beim Mond sind wir inzwischen so weit, daß wir aus multispektralen Bilddaten quantitative Informationen über die Oberflächenchemie bzw. Oberflächenmineralogie gewinnen können. Dies gelingt sogar von der Erde aus.

Abbildung 50 :

In dieser Abbildung wurden mehrere teleskopische Aufnahmen überlagert aufgenommen in zwei Wellenlängenbereichen im sichtbaren Licht bei 0,38 µm und 0,56 µm. Das Reflexionsspektrum des Mondes zeigt eine tiefe UV-Absorption und steigt zum Roten hin steil an. Dieser Anstieg ist abhängig vom Titan- und Eisengehalt. Das Bild ist zusammengesetzt aus 10 Einzelaufnahmen, die nach einer Mondeklipse (Abdeckung des Mondes durch den Erdschatten) gewonnen wurden. Die räumliche Auflösung beträgt etwa 20 – 30 km. Hinter der Farbkodierung des Bildes steckt eine umfangreiche Prozedur. Die Verarbeitung war derart, daß mit den zwei Kanälen (siehe oben) erst einmal eine Hauptkomponententransformation durchgeführt und dazu eine weitere Komponente in Form eines Intensitätsverhältnisses aus den beiden Kanälen eingebracht wurde. Das Ganze ist dann in die sogenannte Intensity-Hue-Saturation-Darstellung umgesetzt und in den Rot-Grün-Blau-Bereich zur Farbdarstellung zurücktransformiert worden. Dadurch erhält man eine Auflösung, die Unterschiede genauer als 1 % im Titangehalt des Mondbodens darstellen kann. Die Farbpalette reicht von Magenta (< 1 % TiCO₂-Gehalt) über Rot, Gelb, Grün, Blau bis hin zu Dunkelblau und Violett. Die violetten





Mars – Multispektralaufnahme farbverstärkt



Mond - Multispektralaufnahme

Abb. 51

Töne zeigen eine Konzentration von Titanoxid von ca. 15 % im Mondboden an (Pfeil). Das ist ungewöhnlich hoch, gemessen an dem, was man auf der Erde findet. Es besteht eine eindeutige Korrelation zu den Werten, die man an den Mondproben von den verschiedenen Apollo-Landestellen gemessen hat. Wir können somit im Prinzip für den gesamten Mond Karten herstellen, welche die Titankonzentration für die Tieflandgebiete des Mondes mit einer Auflösung genauer als 1 % angeben. Das ist ein enormer Schritt vorwärts. Für die in ihrer Gesamtzusammensetzung von den Tieflandgesteinen sehr verschiedenen Gesteine des Hochlandes (hier dunkel erscheinend) läßt sich keine eindeutige Korrelation zum Titangehalt angeben, jedoch spielt dort der Eisengehalt eine ähnliche Rolle.

Abbildung 51 :

Was in Abbildung 50 gezeigt wurde, ist eine Art Negativbild des Mondes. Die normalerweise hell erscheinenden Hochlandgebiete sind darin dunkel, die normalerweise dunkel erscheinenden Tieflandgebiete (Mondmaria = "Meere") sind darin hell wiedergegeben. In Abbildung 51 sind die "Helligkeiten" umgekehrt worden, so wie sie sich einem Betrachter des Mondes wirklich darstellen; das heißt, die Tieflandgebiete sind dunkel und die Hochlandgebiete hell. Hier erkennt man die unterschiedliche Zusammensetzung des Mondbodens im Hochland. Man beobachtet wieder am Rande des Mare Tranquillitatis (Pfeil), der Apollo-11-Landestelle, die hohen Titanwerte. Im Hochland bedeuten die Grün-Rot-Töne und auch Violett-Töne jedoch etwas anderes, und zwar spiegeln sie u.a. die Eisenkonzentration wider. Diese Abhängigkeiten konnten im Labor an Mondproben noch nicht genügend geeicht werden. Eine Eichung an den Mondgesteinen ließe sich aber wohl im Prinzip durchführen.

Bemerkenswert ist der große Strahlenkrater Tycho (Keil), den man mit einem kleinen Feldstecher sehr gut im südlichen Mondhochland beobachten kann. Durch den Einschlag mit der Bildung des Kraters Tycho wurde wahrscheinlich aus den Tiefen titanreiches oder zumindest eisenreiches Material an die Oberfläche gebracht und im Kraterwall bzw. im Auswurf in der weiteren Umgebung abgelagert. Dies bedeutet, daß unter dem Mondhochland eisen- oder titanreiche Schichten vorkommen. Die Krater sind sozusagen Sonden in das Mondinnere in Form ihres Auswurfmaterials. Wenn man den Mond auf diese Weise genauer untersuchen würde, könnte man die Mondmineralogie und Mondchemie detailliert erfassen und zwar auch bezüglich der Tiefenabhängigkeit. Dies ist eine interessante Perspektive für die Zukunft.

Anschriften von Verfasser, Mitverfasser und Herausgeber:

Dr. Gustav Neugebauer

Dr. Gerhard Neukum

Privatdozent und	Professor für Kartographie
Abteilungsleiter,	und Topographie
Deutsche Forschungs- und	Hochschule der Bundeswehr München
Versuchsanstalt für Luft-	Werner-Heisenberg-Weg 39
und Raumfahrt e.V.	8014 Neubiberg
Institut für Optoelektronik	Tel.: 089-6004-3449
Oberpfaffenhofen	
8031 Weßling	
Tel.: 08153-28731-30	

Zusammenfassung

Diese Veröffentlichung vermittelt einen Überblick über das gegenwärtige Aussehen und den geologischen Entwicklungsablauf des Erdmondes, der Planeten Merkur, Venus und Mars sowie der Satelliten von Jupiter und Saturn. Die Diskussion darüber wird mit Hilfe von Photoaufnahmen und fernerkundlichen Messungen geführt, die im Laufe der Erforschung des Planetensystems während der letzten 20 Jahre durch Raumsonden gewonnen wurden. Bei der Vorstellung von Abbildungen der Planeten sowie topographischer und thematischer Karten werden Mars und die Monde des Jupiter und Saturn besonders hervorgehoben. Es wird der gegenwärtige Stand des planetaren Kartographieprogramms der USA sowie seine Anwendung in der planetologischen Forschung aufgezeigt. Das Orientierungssystem der planetaren Objekte in Form spezieller Koordinatensysteme für astronomische und kartographische Zwecke wird beschrieben. Beispiele multispektraler Bilder des Erdmondes sowie des Planeten Mars zeigen, daß damit Unterschiede in Aufbau und Zusammensetzung planetarer Oberflächenmaterialien sichtbar gemacht werden können.

Summary

The paper presents an overview of the current appearance and past geologic evolution of the Earth's moon, the solid planetary bodies Mercury, Venus, Mars, and the satellites of Jupiter and Saturn as obtained through remote sensing measurements, primarily images taken by cameras, in the course of the planetary exploration effort of the last 20 years. Examples of planetary imagery and of topographic and thematic maps are given with emphasis on the planet Mars and on the moons of Jupiter and Saturn. The present state of the American planetary cartography program is discussed in the context of its application of planetological research. The system of orientation of the planetary objects for astronomical and cartographical purposes is briefly described in terms of usage of specific coordinate systems. Examples of multispectral images of the Earth's moon and of the planet Mars show that compositional differences in surface materials can be made visible.

ABBILDUNGSNACHWEIS

- Abb. 1, 8, 11, 12, 22, 23, 24, 31, 46, 47, 48, 49, 50, 51: Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt e.V. (DFVLR), Institut für Optoelektronik, Abteilung Planetare Erkundung.
- Abb. 2, 41, 43, 45 aus:

"Status and Future of Extraterrestrial Mapping Programs" (1981), R.M. Batson, NASA Contractor Report 3390.

- Abb. 3, 4: Lick Observatory, USA.
- Abb. 5, 6, 7, 8, 9, 13, 14, 27, 28, 29, 30, 32, 36, 37, 38: NASA.
- Abb. 9, 10 aus:

Basaltic Volcanism Study Project (1981), "Basaltic Volcanism on the Terrestrial Planets". Pergamon Press, USA.

- Abb. 26: "Voyager-Journey to the Outer Planets", NASA-JPL SP 43 – 39.
- Abb. 15, 17, 18, 19, 20, 33, 39, 40, 42, 44: US Geological Survey, Flagstaff, Arizona.
- Abb. 35: Daten aus: Smith et al. (1979), Science 204, 206 und Smith et al. (1982), Science 215, USA.

LITERATURNACHWEIS

- Batson, R.M. (1981), "Status and Future of Extraterrestrial Mapping Programs". NASA Contractor Report 3390, USA
- Carr, M.H. (1981), "The Surface of Mars". Yale University Press, New Haven and London
- Davies, M.E., Dvornik, S.E., Gault, D.E., Strom, R.G. (1976), "Atlas of Mercury". Prepared for the Office of Space Sciences, National Aeronautics and Space Administration, NASA SP-423
- Davies, M.E. et al. (1980), "Report of the IAU Working Group on Cartographic Coordinates and Rotational Elements of the Planets and Satellites". Celestial Mechanics 22, 205-230
- Davies, M.E. and Katayama, F.Y. (1981), "Coordinates of Features on the Galilean Satellites". Journal of Geophysical Research 86, 8635-8657
- Davies, M.E. et al. (1983), "Report of the IAU Working Group on Cartographic Coordinates and Rotational Elements of the Planets and Satellites". Celestial Mechanics 29, 309-321
- Henkel, J. (1984), "Separation of highly correlated Bands of a multispectral Image taken with a telescope using IHS-Playmode". Earth, Moon and Planets 30, 193-203
- Hiller, K. und Neukum, G. (1984), "Die Erde im Weltall". Diercke Universal Atlas, Westermann-Verlag, Braunschweig
- Janle, P. (1984), "Kartographie der Oberflächen der terrestrischen Planeten". Kartographische Nachrichten, H. 3, Kirschbaum-Verlag, Bonn – Bad Godesberg
- Meine, K.H. (1966), "Weltraumkartographie". Kartographische Nachrichten, H. 6, C. Bertelsmann Verlag, Gütersloh
- Meine, K.H. (1967), "Kartographische Aspekte der Weltraumforschung und ihre Bibliographie". Allgemeine Vermessungs-Nachrichten, H. 4, H. Wichmann Verlag, Karlsruhe
- Meine, K.H. (1968), "Kartographische Aspekte der Weltraumforschung und ihre Bibliographie". Allgemeine Vermessungs-Nachrichten, H. 2, H. Wichmann Verlag, Karlsruhe
- Meine, K.H. (1969), "Kartographische Aspekte der Weltraumforschung und ihre Bibliographie". Allgemeine Vermessungs-Nachrichten, H. 5, H. Wichmann Verlag, Karlsruhe

- NASA, "Voyager Journey to the Outer Planets", JPL SP 43-39
- Neukum, G. und Hiller, K. (1981), "Martian Ages". Journal of Geophysical Research 86, 3097-3121
- Neukum, G. (1981), "Surface history of the terrestrial-type planets". Proc. Alpbach Summer School, European Space Agency SP-164, 129-137
- N e u k u m, G. (1983), "Meteoritenbombardement und Datierung planetarer Oberflächen". Habilitationsschrift, Fakultät für Geowissenschaften der Ludwig-Maximilians-Universität München
- Smith, B.A. et al. (1979), "The Jupiter System through the Eyes of Voyager 1". Science 204, 951-971, USA
- Smith, B.A. et al. (1979), "The Galilean satellites and Jupiter: Voyager 2 imaging science results". Science 206, 927-950, USA
- Smith, B.A. et al. (1981), "Encounter with Saturn: Voyager 1 imaging science results". Science 212, 163-190, USA
- Smith, B.A. et al. (1982), "A new look at the Saturn system: The Voyager 2 images". Science 215, 504-537, USA

- Atlas of Ganymede. 1:25 Mill., Topographic Series, Jg. 25 M 2 RMN, 1979, U.S.G.S.
- Atlas of Mars. 1: 25 Mill., Geologic Series, M 25 M G, 1978, U.S.G.S.
- Atlas of Mars. Topographic Series 1: 500.000, Tithonium Chasma, M 500 K - 6/85.5 OMT, 1980, U.S.G.S.
- Atlas of Mercury. 1:25 Mill., Topographic Series, H 15 M 1 RM, 1979, U.S.G.S.
- Atlas of the Saturnian Satellites. 1:10 Mill., Topographic Series, Tethys, Ste 10 M 2 AN, 1982, U.S.G.S.
- Atlas of the Saturnian Satellites. 1:5 Mill., Topographic Series, Enceladus, Se 5M 1AN, 1982, U.S.G.S.
- Atlas of Venus. 1:50 Mill., Topographic Series, V 50 M 6/60 RKT, 1981, U.S.G.S.

<u>ANHANG</u>

Planetenkarten an der regionalen Planeten-Bilddaten-Bibliothek (Regional Planetary Image Facility)

DFVLR, Forschungszentrum Oberpfaffenhofen, Institut für Optoelektronik, Abteilung Planetare Erkundung 8031 Wessling bei München

Zur Zeit befindet sich diese Planetenkarten- und Planeten-Bilddaten-Bibliothek noch im Aufbau mit Hilfe der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) und der amerikanischen NASA. Die NASA wird das gesamte bisherige planetare Bild- und Kartenmaterial zur Verfügung stellen. Der Aufbau sollte im wesentlichen bis Ende 1985 abgeschlossen sein. Alles Bild- und Kartenmaterial von weiteren planetaren Missionen in der Zukunft wird hier ebenfalls archiviert werden.

Die Bildbibliothek ist unter anderem dazu da, Interessenten Auskünfte über vorhandene Daten zu erteilen und an Ort und Stelle direkt Einsicht in das Material zu gewähren. Außerdem wird in kleineren Mengen Bild- und Kartenmaterial zur externen Nutzung verfügbar sein. Größere Lieferungen sind aus den USA zu beziehen. Entsprechende Unterlagen zum Bezug werden zur Verfügung gestellt.

Zur Zeit sind folgende Kartenprodukte in Oberpfaffenhofen vorhanden:

Merkur:

Shaded Relief Map of Mercury	
(polar and equatorial regions), 1979	1 : 15 000 000
Projection: Mercator and Polar Stereographic	
Mercury: Relief and Albedo Markings	
Visible on Mariner 10 Images, 1979	1 : 15 000 000
Projection: Mercator and Polar Stereographic	

Shaded relief series 9 maps edited (from 15) in 1970's Projection: Mercator, Lambert Conformal and Polar Stereographic	1 :	5 000 00	0
Geologic Maps of Mercury	1	F 000 00	
Projection: Mercator	1:	5 000 00	Ū
<u>Venus:</u>			
Altimetric and Shaded Relief Map of Venus, 1981 Projection: Mercator	1 :	50 000 00	0
Jupiter-Satelliten:			
Io, Europa, Ganymede, Callisto Preliminary pictorial maps Projection: Mercator and Polar Stereographic Edited 1979 Io, High Resolution Controlled Stereographic	1 :	25 000 00	0
Saturn-Satelliten:			
Mimas, Enceladus Tethys, Dione, Rhea, Iapetus Preliminary pictorial maps Projection: Mercator and Polar Stereographic Edited 1981	1 : 1 :	5 000 00 10 000 00	0
Mond:			
Luna Chart LPC1 1st ed. 1970 equatorial and polar areas Projection: Mercator and Polar Stereographic	1 :	10 000 00	0
Relief and surface Markings, Lunar Polar Regions, Lunar Far Side, 1981 Projection: Mercator and Polar Stereographic	1 :	5 000 00	0
Lunar Chart LMP1-3 Complete Lunar Coverage, 1970 Projection: Mercator and Polar Stereographic	1 :	5 000 00	0

Geologic Map, complete Lunar Coverage edition around 1978	1 :	5 000 000
Projection: Mercator, Polar Stereographic and Orthographic		
USAF Lunar Reference Mosaic Earthside, 1960	1:	5 000 000
Projection: Orthographic		
Lunar Albedo Reference Chart Earthside	1 :	5 000 000
Projection: Orthographic		
Lunar Planning Chart LOC1-4 Edition 1971	1 :	2 750 000
Projection: Mercator		
Lunar Planning Chart LOC2-4 Edition 1969	1 :	2 500 000
Projection: Mercator		
Lunar Astronautical Chart (LAC) series shaded relief and topographic, nearside, 1st ed. in 1960's, 42 nearside sheets	1 :	1 000 000
have been published Projection: Mercator, Lambert Conformal Conic		
Projection. Mercator, Lambert Comornial Come		
Geologic edition of LAC-series from USGA	1 :	1 000 000
Projection: Mercator, Lambert Conformal		
Lunar Map (LM) series shaded relief and topographic (successor of LAC-series), available only in areas of photographic coverage of Apollo missions	1 :	1 000 000
edited in 1960 Projection: Mercator, Lambert Conformal Conic		
	1	
Eunar Equatorial Zone Mosaic Earthside, Farside, Eastern Limb Projection: Mercator	1:	2 500 000
Lunar Photomap, Topographic Photomap and Topographic Map Series derived from Lunar Orbiter missions (Aristarchus, Censorinus, Copernicus, Fra Mauro, Marius F, Prinz, Rima Hadley, Rima Bode II, Rima Hyginus, Rimae Littrow, Descartes) edited around 1970 Projection: Transverse Mercator	1 : 1 :	250 000 25 000

Lunar Topographic Orthophotomap (LTO) and Lunar Orthophotomap series derived from Apollo 15-17 orthophotography edited in 1970's, several farside maps are published Projection: Transverse Mercator	1 :	250 000
Lunar Geologic Maps		
Fra Mauro Region Projection: Mercator	1 : 1 :	25 000 250 000
Apennine-Hadley Region, Taurus-Littrow Region Projection: Transverse Mercator	1 : 1 :	50 000 250 000
Descartes Region Projection: Mercator	1 : 1 :	50 000 250 000
Geologic Map Several Regions available Projection: Mercator	1 :	100 000
Geologic Map Alphonsus Ga Region, Sabine DM Region, Alphonsus Region Projection: Mercator	1 :	50 000
Geologic Map Apollo Landing Site 1,2,3 and 3R,4 and 4R,5 Projection: Mercator	1 :	25 000
Geologic Map Bondland PQC Region Sabine EB Region Projection: Mercator	1 : 1 :	10 000 5 000
Mars:		
Shaded Relief Map, Topographic Map and Geologic Map Complete Martian Coverage Projection: Mercator and Polar Stereographic	1 :	25 000
Shaded Relief Map Eastern and Western Region Projection: Mercator Polar Region Projection: Polar Stereographic	1 : 1	5 000 000

Topographic MC-1 to MC	с Мар С-26	1 :	5 000 000
Projection:	Mercator, Lambert Conformal and Polar Stereographic		
Geologic Ma MC-2 to Ma Projection:	ap C-30 Mercator, Lambert Conformal and Polar Stereographic	1 :	5 000 000
Shaded Reli MC-1 to MC Projection:	ef Map C-30 Mercator, Lambert Conformal and Polar Stereographic	1 :	5 000 000
Controlled P MC-2 to MO Projection:	Photomosaic C-29 Transverse Mercator, Mercator and Lambert Conformal	1 :	2 000 000
Topographic MC-16NW, I MC-17NW MC-18NW MC-22NW	c Map NE	1 :	2 000 000
Projection:	Mercator		
Shaded Relie MC-18NW MC-17NW	ef Map	1 :	2 000 000
Projection:	Mercator		
Map Showin MC-2 to Mo Projection:	g Lava Flows C-25 Mercator and Lambert Conformal	1 :	2 000 000
Shaded Relie Capri Region Cydonia Reg Chryse Plani Erythraeum Tritonis Lacu Projection:	ef Map n (MC-19) gion (MC-4) tia (MC-11) Region (MC-19) s Region (MC-14) Transverse Mercator	1 :	1 000 000
Topographic Cydonia Reg Chryse Plani Erythraeum Projection:	c Map gion (MC-4) tia (MC-11) Region (MC-19) Transverse Mercator	1 :	1 000 000

Topographic Contour Map Arsia Mons (MC-17) Projection: Transverse Mercator	1 :	1 000 000
Controlled Mosaic Utopia Planitia Region (MC-7) Chryse Planitia Region (MC-11) Canberra Region Yorktown Region Projection: Transverse Mercator	1 :	250 000
Topographic Orthophoto Mosaic Tithonium Chasma Region Projection: Orthographic	1 :	500 000
High Resolution Mariner 9 Pictures Chryse Region Cydonia Region	1 :	250 000
Viking Lander 1 Rectified Photomosaics: Morning Scene-Camera 2 Evening Scene-Camera 1 and 2	keine I angab	Maßstabs- De

<u>Schriftenreihe</u>

des Wissenschaftlichen Studienganges Vermessungswesen an der HSBwM (Die Hefte der Schriftenreihe erscheinen in zwangloser Folge)

Bisher erschienene Hefte :

Nr. 1/78	A. Schödlbauer : Curriculum f ür den wissenschaftlichen Studiengang Vermessungs- wesen der Hochschule der Bundeswehr M ünchen
Nr. 2/78	A. Chrzanowski and E. Dorrer (Eds.): Proceedings "Standards and Specifications for Integrated Survey- ing and Mapping Systems", Workshop held in Munich, 1-2 June 1977
Nr. 3/78	W. Caspary und A. Geiger: Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit elektronischer Neigungs- messer
Nr. 4/79	E. Baumann, W. Caspary, H. Dupraz / W. Niemeier / H. Pelzer, E. Kuntz / G. Schmitt, W. Welsch : Seminar über Deformationsanalysen
Nr. 5/81	K. Torlegård : Accuracy Improvement in Close Range Photogrammetry
Nr. 6/82	W. Caspary und W. Welsch (Hrsg.) : Beiträge zur großräumigen Neutrassierung
Nr. 7/82	K. Borre and W.M. Welsch (Eds.) : Proceedings "Survey Control Networks", Meeting of FIG-Study Group 5B, Aalborg, 7 - 9 July 1982
Nr. 8/82	 A. Geiger : Entwicklung und Erprobung eines Präzisionsneigungstisches zur Kalibrierung geodätischer Instrumente
Nr. 9/83	W. Welsch (Hrsg.) : Deformationsanalysen ´83
Nr. 10/84	W. Caspary, A. Schödlbauer und W. Welsch (Hrsg.): Beiträge aus dem Institut für Geodäsie
Nr. 11/84	W. Caspary und H. Heister (Hrsg.): Elektrooptische Präzisionsstreckenmessung

<u>Schriftenreihe</u>

des Wissenschaftlichen Studienganges Vermessungswesen an der HSBwM (Die Hefte der Schriftenreihe erscheinen in zwangloser Folge)

- Nr. 12/84 P. Schwintzer : Analyse geodätisch gemessener Punktlageänderungen mit gemischten Modellen
- Nr. 13/84 G. Oberholzer : Landespflege in der Flurbereinigung
- Nr. 14/84 G. Neukum und G. Neugebauer (Beiträge) : Fernerkundung der Planeten und kartographische Ergebnisse