

Bernd Leitenberger



# Curiosity und Phobos Grunt

Die neuesten Marssonden



**Edition Raumfahrt**

Besonderen Dank schulde ich Thomas Jakaitis und Ralph Kanig für das Korrekturlesen des Manuskripts. Die Bilder wurden der NASA zur Verfügung gestellt, sofern nicht eine andere Quelle angegeben wurde.

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort

Die Erforschung des Mars vor dem Raumfahrtzeitalter

Raumsonden unterwegs zum Mars

    Rover auf dem Mars

Wie funktionieren die Instrumente?

Mars Science Laboratory

    Projektgeschichte

    Der Landeplatz

    Die Raumsonde

    Curiosity

    Die Instrumente

    Die Trägerrakete Atlas V

    Himmelsmechanik und der geplante Flug

Die Mission

    Die Landung

Phobos Grunt

    Das Ziel: Marsmond Phobos

    Projektgeschichte

    Die Raumsonde

    Mars Meteorological Lander (MML)

    Yinghuo-1

    Experimente

    ESA Kooperation

    Die geplante Mission

    Die Trägerrakete Zenit-Fregat

Die kurze Reise von Phobos Grunt

Woran scheiterte die Mission?

Die nächsten Missionen

Die Frage nach dem Leben

Abkürzungsverzeichnis

Literaturempfehlungen

# Vorwort

2011 starteten die seit langer Zeit anspruchsvollsten Marssonden: Phobos Grunt und Mars Science Laboratory (MSL). Leider scheiterte Phobos Grunt schon kurz nach dem Start. Dieses Buch soll ausführlich über die Raumsonden und die geplanten Missionen beider Projekte informieren. Es soll nicht nur für den schon vorgebildeten Leser, sondern auch für allgemein an der Raumfahrt interessierte Personen gut lesbar sein.

Das ist natürlich eine Gratwanderung und ein hoher Anspruch. Bücher über aktuelle Raumfahrtmissionen, die sich an die Allgemeinheit wenden, sind meist reich bebildert, während der erläuternde Text kaum Details enthält. Zu viele Daten und die Verwendung von Fachbegriffen mögen zwar Raumfahrtinteressierte erfreuen, verschrecken aber den nicht vorgebildeten Leser. Ich habe versucht, dieses Dilemma zu lösen, indem ich einige erläuternde Kapitel eingeschoben habe. Darin wird zum Beispiel erklärt, wie die Instrumente funktionieren oder ich habe bei den Raumsonden auch einige Erläuterungen zu Begriffen und Verfahrensweisen eingefügt. Abkürzungen werden im Abkürzungsverzeichnis am Ende des Buches erläutert. Der Umgang mit technischen Daten ist eine andere Sache: Ich will ein informatives Buch schreiben, aber auch ein leicht lesbares. So habe ich alle technischen Daten in Tabellen ausgelagert, die man auch gerne überspringen kann, und nur die wichtigsten Fakten im Fließtext erwähnt.

Es gibt zu den früheren Marsmissionen schon eine Reihe von Büchern auf dem Markt. Daneben gibt es auch einige gute

Bücher über Planetologie im Allgemeinen und den Mars im Besonderen. Dies ist ein Buch über die beiden neuen Raumsonden und ihre Projektgeschichte. Leider gibt es ein deutliches Informationsgefälle. Seitens der Missionsplanung des JPL zu Curiosity und der Entwickler der Instrumente gibt es eine Fülle von Informationen. Etwas schlechter sieht es bei der Raumsonde selbst aus, die von der Industrie gebaut wird. Ganz anders ist dies bei Phobos Grunt: Es war äußerst mühsam, die Informationen aus verschiedensten Quellen zusammenzutragen und zu überprüfen. Leider konnten dabei nicht alle Lücken geschlossen werden. Das Kapitel ist daher deutlich knapper, auch weil es kaum Erklärungen, sondern oft nur nackte technische Fakten gab.

Das Scheitern der Phobos Grunt Mission kam fast zeitgleich mit der Fertigstellung der Rohfassung des Manuskripts. Es war zu spät, das entsprechende Kapitel umzuschreiben, insbesondere die Zeitform, da es ja nun nicht zu einer Landung kommen wird. Der Leser möge dies nachsehen und es als die Beschreibung einer Mission ansehen, die, wenn sie geglückt wäre, sicher in die Annalen der Marsforschung eingegangen wäre.

# Die Erforschung des Mars vor dem Raumfahrtzeitalter

Der Mars hat schon immer die Menschen fasziniert. Schon bei den Griechen stand der Planet wegen seiner rötlichen Färbung für den Kriegsgott Ares, der später bei den Römern Mars genannt wurde. Die Erforschung der Planeten begann allerdings erst in der Renaissance. Vorher wurden die Planeten zwar jahrhundertlang beobachtet, um anhand ihrer Positionen Horoskope zu erstellen, doch die Astronomie als Wissenschaft kam erst im sechzehnten Jahrhundert auf. Der Erforschung des Mars verdanken wir, dass die Bewegung der Planeten verstanden werden konnte. Da der Mars eine elliptische Umlaufbahn hat, konnte Kepler nachweisen, dass sich die Planeten in elliptischen Bahnen um die Sonne bewegen, und nicht, wie noch Kopernikus annahm, in perfekten Kreisen. Die Umlaufbahn des Mars ist exzentrisch und verläuft in einer Entfernung von 206 bis 250 Millionen km von der Sonne. Das nötige Datenmaterial hatte Kepler allerdings nicht selbst gesammelt. Der dänische Astronom Tycho Brahe hatte es in nächtelanger Kleinarbeit über viele Jahre zusammengetragen, als er einen Sternkatalog erstellte und dabei auch die Bewegung der Planeten akribisch festhielt.

Doch mehr als das Intervall zwischen zwei Oppositionen — so bezeichnet der Astronom den Zeitpunkt, bei dem zwei Planeten den geringsten Abstand zueinander haben — von 687 Tagen oder rund 26 Monaten konnte man nicht vor der Erfindung des Teleskops. Weder wusste man, wie der Mars aussieht, noch wie groß er ist, noch wie seine Umlaufbahn genau verläuft. Für das bloße Auge ist er ein rötlich-

orangefarbener Himmelskörper, der bei der Opposition heller wird, aber selbst dann ist er noch über hundertmal kleiner als der Mond und erscheint als roter Stern.

Als die ersten Fernrohre aufkamen, konnten die Beobachter auf der Oberfläche farbliche Nuancen ausmachen, die sich auch zeitlich veränderten. Einige der Gebiete erhielten bald poetische Namen, die bis heute noch gültig sind, so die Hellas-Ebene, die sich als ein riesiges Einschlagbecken auf der Südhalbkugel entpuppte oder die Chryse(Gold)-Ebene im Norden, in der Viking 1 landen sollte. Die erste überlieferte Zeichnung, die Oberflächendetails darstellt, stammt von Christiaan Huygens aus dem Jahr 1659. Sie zeigt schon die beiden hellen Polkappen. Allerdings war und ist der Mars kein dankbares Beobachtungsobjekt. Er ist im Teleskop viel kleiner als Venus, Jupiter und Saturn. Selbst auf Aufnahmen des Hubble Space Teleskops kann man nur wenige Details ausmachen.

Sehr bald erkannten die Astronomen, dass der Mars zwar kleiner als die Erde ist, aber in anderen physikalischen Parametern der Erde ähnelt. So konnte schon 1719 seine Rotationsperiode von Maraldi auf 24 Stunden und 40 Minuten bestimmt werden. Die Rotationsachse ist um 23,5 Grad zur Bahnebene geneigt — beides ist vergleichbar mit der Erde. Nachdem im 18. Jahrhundert die Entfernung der Erde von der Sonne durch die genaue Bestimmung der Zeit, welche die Venus braucht, um die Sonne zu passieren, berechnet werden konnte, war auch der Durchmesser des Mars bekannt. Er ist mit knapp 6.800 km nur etwa halb so groß wie die Erde.

Sehr schwierig war die Anfertigung von Karten. Wer einmal selbst den Mars durch ein Fernrohr beobachtet hat, weiß, dass er fast konturlos ist. Es dauert mehrere Minuten, bis die Augen sich angepasst haben, und nur kurz sieht man dann

Details, auch weil die Luftunruhe diese gerne verschmiert. Das Zittern der Luft ist der Feind jedes Beobachters. Selbst in Gegenden mit stabilen Luftschichten, ohne Turbulenzen und auf Bergen kann man selten Details erkennen, die kleiner als eine Bogensekunde sind. Das ist etwa ein Zweitausendstel des Vollmonddurchmessers, aber nur ein Zwölftel des Marsdurchmessers bei einer sehr nahen Opposition.

Noch schwieriger zu beobachten sind die beiden Marsmonde Phobos und Deimos. Sie sind nur rund 20 km groß und befinden sich sehr nahe am Planeten. So dauerte es bis 1877, als Asaph Hall die beiden Monde entdeckte. 1877/78 gab es eine besonders günstige Opposition. Zusammen mit einem der größten Teleskope seiner Zeit, einem Linsenteleskop mit 67 cm Durchmesser, gelang Hall die Entdeckung der Monde. Er benannte die Monde nach den beiden Hunden, welche in der griechischen Mythologie den Streitwagen des Ares zogen. Durch die Monde konnten nun die Masse und Dichte des Mars berechnet werden, da die Umlaufdauer von der Masse abhängt. Die Dichte des Mars ist mit  $3,93 \text{ g/cm}^3$  erheblich niedriger als bei der Erde. Er verfügt nur über einen kleinen Kern aus schweren Metallen.

Aufsehen erregte eine Karte, die bei derselben Opposition entstand. Sie wurde 1878 von Schiaparelli gezeichnet und zeigte erstmals lange, gerade Linien, die er „canali“ nannte. Der Begriff selbst ist ein Kunstwort. Im Italienischen gibt es nur „Canale“, was künstliche Wasserstraße oder auch Flusskanal bedeutet. Schiaparelli sah sie als Verbindungsweg zwischen den dunklen Gebieten an, die man damals als Meere interpretierte. Sie sollten die Meere durch das trockene, rötliche Land verbinden, so wie der Ärmelkanal oder die Magellanstraße. Schiaparelli hat sich nicht zu künstlichen Wasserläufen geäußert. Fast jeder andere Forscher interpretierte sie jedoch als genau das, vor

alles, weil die Linien auf der Karte so schnurgerade verliefen.

Die Karte löste eine erste Marshysterie aus. Zwischen 1880 und 1905 erschienen zahlreiche populärwissenschaftliche Schriften über den Mars und seine möglichen Bewohner. Schnell fand man Erklärungen für die Kanäle. Sie sollten dazu dienen, Wasser zu verteilen. Die

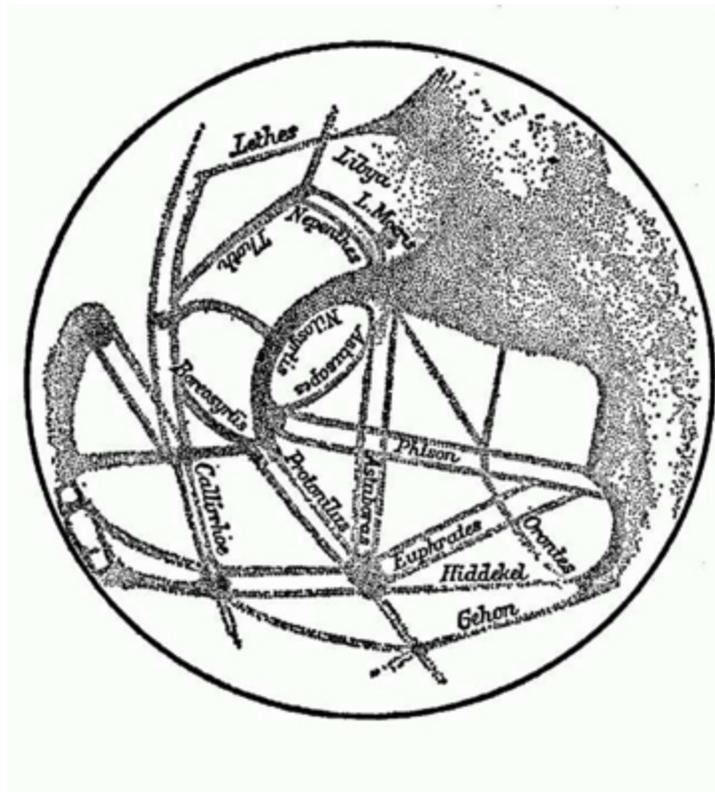


Abbildung 1: Karte der Marsopposition von 1877, gezeichnet von Schiaparelli

Marsianer mussten sehr unter Trockenheit leiden und daher diese Kanäle gebaut haben. Schließlich war der ganze Planet rot — wie irdische Wüsten. Völlig unter den Tisch fiel, dass bei der Auflösung, die mit den damaligen Teleskopen möglich war, ein Kanal mindestens 50 bis 60 km breit sein musste. Selbst wenn man den Effekt berücksichtigt, dass feine Linien auch bei kleinerer Breite gut sichtbar sind, so mussten die Kanäle für irdische Verhältnisse enorm groß

sein. Zum Vergleich: Der Suezkanal ist heute rund 300 m breit. Er war, als er 1869 eröffnet wurde, weitaus schmaler. Die Kanäle auf dem Mars mussten mindestens hundertmal größer als jede vom Menschen geschaffene künstliche Wasserstraße auf der Erde sein.

Die Vermutung, dass der Mars bewohnt sein könnte, war nicht neu, nur fehlten bisher die Beweise für Marsianer. Carl Friedrich Gauss schlug schon ein halbes Jahrhundert vorher vor, in Sibirien riesige Weizenfelder mit geometrischen Mustern anzulegen, um mit den Marsianern zu kommunizieren. Schon 1879 fertigte Schiaparelli eine neue Karte an. Sie zeigte nicht nur viel mehr Kanäle als die Erste. Ein Kanal von war nun schon doppelt aufgespalten. Er stellte klar, dass er sie als natürliche Wasserläufe ansah, wie den Ärmelkanal, den er als Vergleich heranzog. In der ersten Auflage hatte er sich noch nicht zu diesem Problem geäußert. Doch es kam zu spät — in anderen Sprachen steht „Kanal“ für einen künstlichen Wasserlauf. Da sich zudem ein Kanal nun in zwei Kanäle aufgespalten hatte, erhielt die Spekulation über Marsianer neuen Auftrieb. Denn nun gab es zeitliche Veränderungen, was für eine heute noch aktive Zivilisation sprach.

Dabei war die Diskussion über die Oberfläche des Planeten noch nicht abgeschlossen. Während einige Experten meinten, die dunklen Gebiete seien Wasser, sahen andere sie als Vegetation an. Andere vertraten sogar die Ansicht, die Oberfläche sei gefroren, und wir würden nur den Staub auf dem Eispanzer sehen. Das wären die dunkeln Gebiete. Svante Arrhenius, der schon den Treibhauseffekt der Venus richtig erkannte, bewies schlüssig, dass es auf dem Mars aufgrund seiner Entfernung von der Sonne kein Wasser in flüssiger Form geben konnte. Arrhenius war einer der damals schon seltenen Universalgelehrten, der sich nicht nur mit Chemie beschäftigte, sondern auch mit

Polarlichtern, Geologie und eben der Astronomie. Er konnte daher auf sein Wissen in anderen Gebieten zurückgreifen und kam daher zur richtigen Einschätzung über die Oberflächentemperatur.

Einer der heftigsten Gegner von Arrhenius' These eines toten Mars war Percival Lowell. Lowell war Sohn einer reichen Patrizierfamilie in Massachusetts. Er beschloss, sein Vermögen für die Astronomie einzusetzen und verließ Boston, um ein Observatorium in Arizona aufzubauen. Nahe Flagstaff, in 2.100 m Höhe, einem Ort mit sehr klarer Luft, entstand 1893 eines der größten Teleskope seiner Zeit. Lowell fand bei seinen Beobachtungen immer mehr Kanäle. Von Zeichnung zu Zeichnung wurden es mehr, am Schluss fast hundert. Er schrieb zahlreiche populäre Schriften über die Marsianer und seine Beobachtungen. Sie fielen auf fruchtbaren Boden, denn damals waren die Leute überzeugt, es müsse Marsianer geben. Lowells Schriften wurden nicht nur in Amerika, sondern auch in Europa veröffentlicht. In derselben Periode, im Jahre 1898, erschien H.G. Wells' Roman „Krieg der Welten“, der vierzig Jahre später bei einer Radioübertragung durch Orson Welles eine Massenhysterie auslöste. Er beschrieb ein Invasionsszenario durch die Marsianer, die schließlich von irdischen Bakterien „besiegt“ wurden. Das Thema wurde seitdem mehrmals verfilmt, zuletzt 2006 mit Tom Cruise in der Hauptrolle.

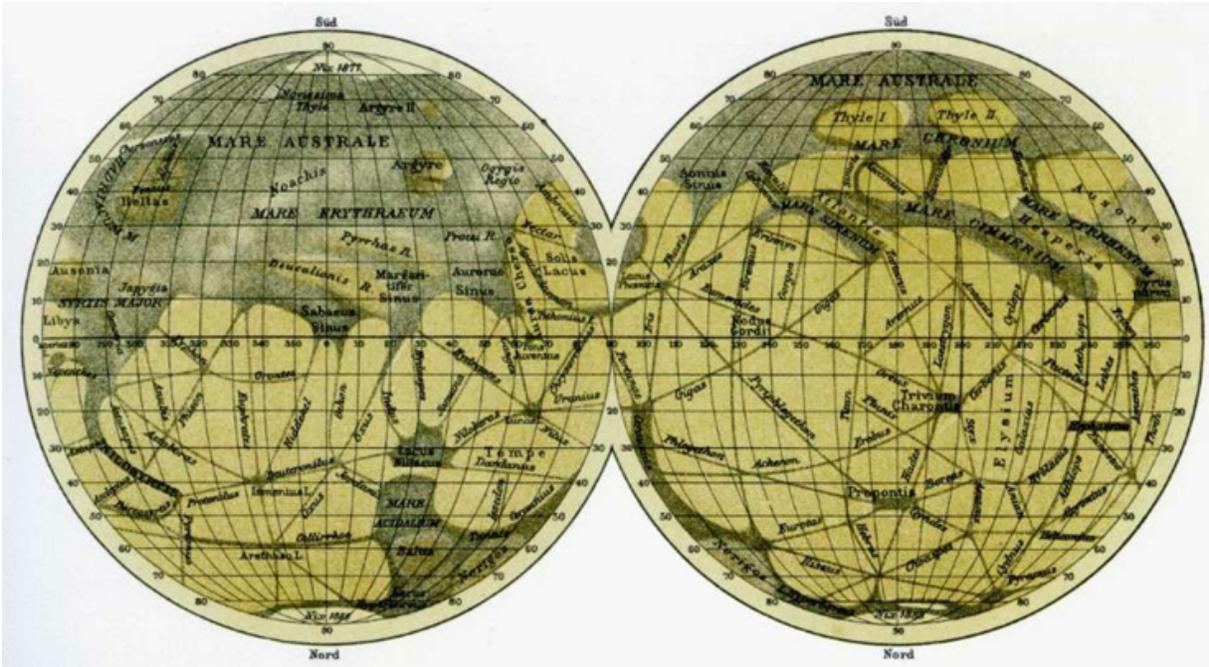


Abbildung 2: Lowells Karte des Mars

Lowell machte aber auch wichtige Beobachtungen für das Verständnis des Planeten. So beobachtete er, dass sich die Polkappen zeitlich veränderten — sie schmolzen ab und nahmen zu. Das bestätigte ihn in seiner Hypothese, dass die Kanäle Schmelzwasser dorthin leiteten, wo es benötigt wurde. Wie wir heute wissen, ist es aber nicht Wassereis, das abschmilzt, sondern Kohlendioxid, das im Winter an den Polen zu Trockeneis ausfriert. Er entdeckte auch erstmals einen Kanal in den dunklen Gebieten. Nun wandelte sich das Bild: Jetzt galt der Mars als trocken, ohne große Ozeane, und nur die dunklen Gebiete wiesen Vegetation auf. Der Rest der Oberfläche wurde als Wüste betrachtet. Das einzige Wasser wurde an den Polkappen vermutet, von wo es wahrscheinlich durch die Kanäle zu Bewässerungszwecken in die trockenen Regionen geleitet wurde. Ingenieure berechneten den Energieverbrauch, der benötigt worden wäre, um das Wasser dorthin zu pumpen. Es wurde sogar spekuliert, wo die Hauptstadt des Mars liegt!

Viele Astronomen hatten mit ihren Instrumenten aber gar keine Canali gesehen und bestritten schlichtweg ihre Existenz. Lowell galt als vermöglicher Laie und seine Beobachtungen wurden von der Fachwelt weitgehend ignoriert. Der Astronom Walter Maunder erkannte mit einem Experiment 1913 den Grund für diese Diskrepanz. 200 sehr gut sehende Studenten mussten Marskarten abzeichnen, so gut sie konnten. Die Marskarten waren nach Beobachtungsdaten angefertigt worden und mit zufälligen, geometrischen Kennzeichen versehen, aber ohne Kanäle. Die Schüler vorne im Saal konnten die Kennzeichen sehen und gaben ihre Form korrekt wieder. Die hinten sitzenden Schüler erkannten nur die groben Formen und gaben diese wieder — ihre Zeichnung glich vielen Marskarten. Die Schüler in der Mitte des Saals konnten zwar erkennen, dass da noch feine Details waren, sie konnten diese aber nicht mehr auflösen. Ihre Zeichnungen zeigten zahlreiche Linien. Es war eine optische Täuschung. Das Gehirn versucht, Linien und andere Strukturen zu erkennen, auch wenn es keine solchen gibt.

Die Frage der Marskanäle verlor im 20. Jahrhundert allmählich an Brisanz, auch weil nun die ersten Fotos vom Mars auftauchten und auf keinem dieser Bilder Kanäle zu sehen waren. Trotzdem erschienen noch bis 1930 zahlreiche Bücher über die Marsianer und ihre Kanäle. Die Temperaturmessungen, die ab Mitte der zwanziger Jahre des letzten Jahrhunderts möglich waren, zeigten bald, dass der Mars zu kalt für Wasser in flüssiger Form war. Die erste Messung von 1924 ergab Temperaturen von  $-45^{\circ}\text{C}$  auf der Nachtseite bis  $0^{\circ}\text{C}$  mittags. Bessere Teleskope zeigten nun auch sehr ausgedehnte „Wolken“, die allerdings unterschiedliche Farben hatten: Bläuliche, gelbliche und rötliche Wolken wurden gesehen. 1925 verdeckte ein globaler Staubsturm zeitweise den Planeten, sodass keine

Details gesehen werden konnten. Seine Natur wurde aber erst Jahrzehnte später erkannt.

Der wissenschaftliche Stand 1960, vor dem Start der ersten Marssonden, war der, dass man wusste, dass der Mars trocken war. Er besaß helle Polkappen aus Wasser, das spektroskopisch nachgewiesen wurde. Er hatte eine Atmosphäre, deren Zusammensetzung man damals mit 98% Stickstoff, 1% Argon und 1% Kohlendioxid annahm. Es gab aber keine spektroskopischen Daten der Lufthülle. Der Druck sollte 60 bis 100 hPa betragen, das sind 6-10% des Atmosphärendrucks am Erdboden. Man identifizierte in den Oberflächenspektren das Mineral Magnetit (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>). In der Atmosphäre sahen manche Beobachter auch Anzeichen von Acetaldehyd. Temperaturmessungen ergaben, dass der Mars viel kälter als die Erde ist. Nur am Äquator werden Temperaturen über dem Gefrierpunkt von Wasser erreicht. Immerhin wurde nicht mehr ausgeschlossen, dass auf dem Mars zumindest Bakterien existieren könnten. Bakterienkulturen überlebten bei Experimenten auf der Erde zumindest teilweise simulierte Marsbedingungen.

An Marsianer glaubte keiner mehr. Der deutsch-amerikanische Wissenschaftspublizist Willy Ley schrieb 1949: „Die Marskanäle existieren nicht!“ Dafür war nach dem Zweiten Weltkrieg der Weltraum in greifbare Nähe gerückt. Schon 1952 veröffentlichte Wernher von Braun seinen ersten Plan für eine Marsmission. Bei dem Projekt sollte eine 50 Mann starke Besatzung auf drei Landefahrzeugen in der Nähe der Pole niedergehen und sich dann mit Fahrzeugen zum Äquator bewegen. Es war der erste Plan für eine Marsexpedition, dem bis heute viele weitere folgen sollten.

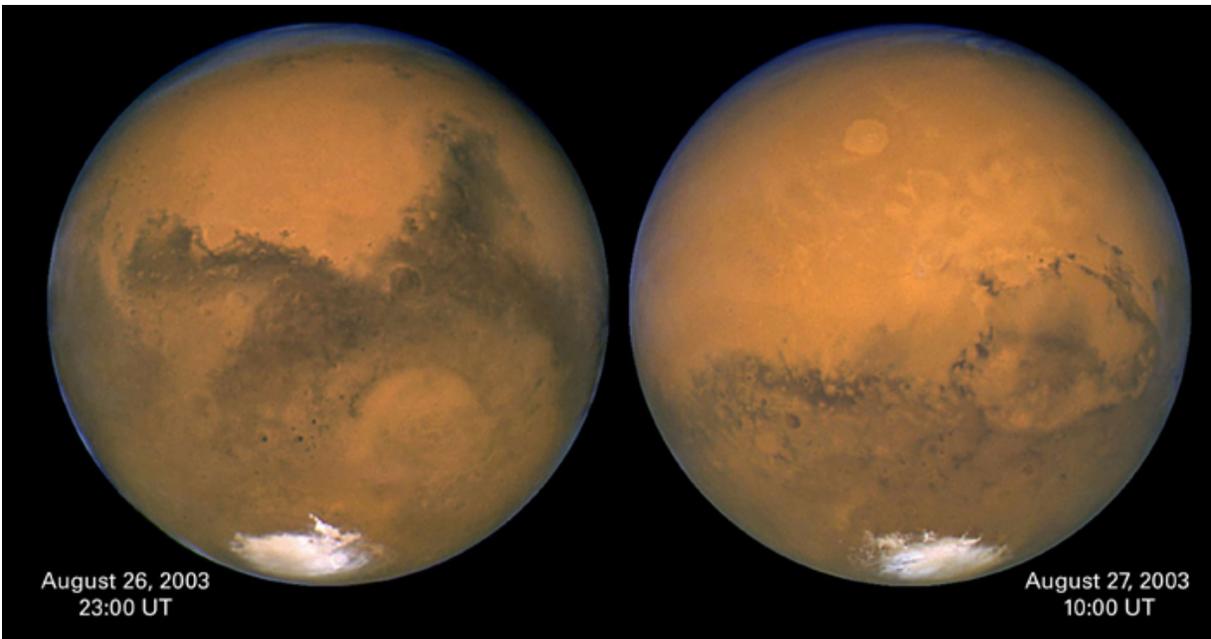


Abbildung 3: Die beste Marsaufnahme vom Weltraumteleskop Hubble

<b>Vergleich Erde - Mars</b>		
<b>Parameter</b>	<b>Mars</b>	<b>Erde</b>
Mittlerer Durchmesser:	6.782 km	12.742 km
Masse:	6,419 x 10 <sup>23</sup> kg	5,976 x 10 <sup>24</sup> kg
Mittlere Dichte:	3,933 g/cm <sup>3</sup>	5,155 g/cm <sup>3</sup>
Größte Abweichungen vom Null- niveau:	Valles Marineris: -10 km Olympus Mons: +26 km	Marianengraben: -11 km Mount Everest: +8,9 km
Neigung der Achse zur Ekliptik:	23,44 Grad	25,19 Grad
Schwerebeschleunigung:	3,69 m/s <sup>2</sup>	9,81 m/s <sup>2</sup>
Fluchtgeschwindigkeit:	5,03 km/s	11,19 km/s
Rotationsdauer:	24 h 37 min, 22 s	23 h 56 min 4 s
Albedo:	0,15	0,367
Mittlerer Bodendruck:	6,1 hPa	1013 hPa
Zusammensetzung der Atmosphäre:	95,3% Kohlendioxid 2,7% Stickstoff 1,6% Argon	78% Stickstoff 21% Sauerstoff 0,93% Argon

Mittlere Oberflächentemperatur:	-55°C	+15°C
Monde:	2	1
Umlaufbahn:	Perihel: 206,6 Millionen km Mittel: 228 Millionen km Aphel: 249,2 Millionen km Exzentrizität: 0,0935	Perihel: 147,1 Millionen km Mittel: 149,6 Millionen km Aphel: 152,1 Millionen km Exzentrizität: 0,0167
Umlaufdauer um die Sonne:	687 Tage	365 Tage
Neigung der Umlaufbahn zur Ekliptik:	1,85 Grad	0 Grad (per Definition)

## **Raumsonden unterwegs zum Mars**

Sehr bald nach dem Start des ersten Satelliten, Sputnik 1, am 4.10.1957 bereitete die Sowjetunion einen Start zum Roten Planeten vor. Die USA planten kein Projekt. Obwohl die UdSSR sich also Zeit lassen konnte, ging sie mit großer Eile an die erste Mission, denn mit dem Start von Sputnik war ein Wettrennen im Weltraum angebrochen. Nach dem Start des ersten Satelliten und des ersten Lebewesens im Weltraum ging es nun darum, beim Mond und den Planeten der Erste zu sein.

Startfenster zum Mars wiederholen sich alle 26 Monate, wobei der Abstand zwischen Erde und Mars sehr stark schwankt. Bei einer Oppositionsstellung kann der Mars im einen Fall nur 56 Millionen km, im andern Fall aber auch 101 Millionen km weit entfernt sein. Entsprechend kann eine Reise nur sechs Monate, aber auch bis zu zehn Monate dauern. Besonders günstige Stellungen gibt es abwechselnd in einem Intervall von 15 und 17 Jahren. Die Besten seit Beginn des Raumfahrtzeitalters waren die von 1971, 1988 und 2003 mit einem minimalen Abstand von jeweils rund 56 Millionen km. Die nächste nahe Opposition wird 2018 mit einem Minimalabstand von 57,6 Millionen km sein, aber auch 2020 kommt der Mars bis auf 62,2 Millionen km an die Erde heran. 2012 ist er nahe seinen sonnenfernsten Punktes (Aphels). Die minimale Distanz zur Erde wurde am 5.3.2012 erreicht. Mars war 100,78 Millionen km von der Erde entfernt.

Aufgrund dieser Tatsache muss eine Raumsonde, wenn sie ein Startfenster versäumt, zwei Jahre warten, bis sie erneut

eine Startchance hat. Die sowjetische Führung wollte nicht bis 1962 warten und befahl schon 1959 den Start einer Raumsonde zum Mars. Sputnik 1+2 hatten in der Öffentlichkeit wie eine Bombe eingeschlagen. Der Sowjetunion wurde die technologische Führung im Raketenbau zugesprochen, und ihr Ansehen stieg, vor allem in Staaten der Dritten Welt. Der sowjetische Premier Chruschtschow unterstützte daher alle Projekte, die einen propagandistischen Erfolg versprachen. Das waren vor allem Erstleistungen, wie die erste Raumsonde, die auf dem Mond aufschlug (Luna 1), die ersten Bilder der Mondrückseite (aufgenommen von Luna 3), und so sollte auch die erste Marssonde Bilder des Roten Planeten anfertigen. Die Zielsetzungen des Projektes „**1M**“, wie es intern hieß, waren für die damalige Zeit durchaus ambitioniert:

- Untersuchung des interplanetaren Raums zwischen Erde und Mars
- Untersuchung, wie Experimente und Gerätschaften eine mehrmonatige Reise überstehen
- Fotografien des Mars

Die Raumsonde verfügte vor allem über Instrumente zur Untersuchung des interplanetaren Mediums. Dies waren ein Magnetometer, um das Magnetfeld der Sonne zu vermessen, ein Staubdetektor, um festzustellen, ob Staub Raumsonden gefährlich werden kann, sowie ein Zähler für Ionen und Elektronen. Nur zwei Instrumente sollten am Mars aktiv sein: eine Filmkamera und ein Spektrometer, das empfindlich in einem Spektralbereich war, in dem organische Substanzen Sonnenlicht absorbieren. Das letztere Instrument versagte aber bei einem Test und konnte in der kasachischen Steppe keinerlei Leben nachweisen, also demontierte man es wieder, um Gewicht einzusparen.

Was Russland jedoch noch nicht hatte, war eine einsatzbereite Trägerrakete. Damals erfolgten gerade die Testflüge der Wostok Version der R-7 Trägerrakete, und sie war noch sehr unzuverlässig. So gingen beide Raumsonden im Oktober 1960 bei Fehlstarts verloren. Von ihnen erfuhr man von offizieller Seite nichts. Gab es einen Fehlstart, so wurde er verschwiegen. Strandete eine Raumsonde in einem Erdorbit, gelang also der erste Teil des Starts, aber dann nicht die Zündung der letzten Stufe, um zum Mars aufzubrechen, so erhielt die Sonde eine Bezeichnung, die ihren wahren Charakter verbarg. Anfangs war dies eine laufende Nummer aus dem Sputnik-, später eine aus dem Kosmosprogramm. Bis in die achtziger Jahre war das gesamte sowjetische Raumfahrtprogramm hochgeheim und zumindest beim Mars darauf ausgerichtet, Erstleistungen vor den USA zu erbringen. Einen offiziellen Namen erhielten die beiden Raumsonden daher nie. Im Westen wurden sie als „Marsnik 1+2“ oder „Mars 1960A/B“ bezeichnet.

Zwei Jahre später wagten die Ingenieure einen neuen Versuch mit einer verbesserten Generation, intern genannt „2MV“. Koroljow, der schon für die erste Generation verantwortlich war, schuf ein universelles Raumschiff. Es sollte sowohl zur Venus als auch zum Mars fliegen können, da es 1962 auch ein Startfenster zur Venus gab. Verglichen mit der ersten Generation konnte eine neue Version der R-7 Trägerrakete, genannt Molnija, eine deutlich schwerere Raumsonde starten.

Doch auch die Molnija hatte einen Designfehler, der erst Jahre später entdeckt werden sollte. Er konnte dazu führen, dass die letzte Stufe nach einer Freiflugphase falsch ausgerichtet war. Dann zündete der Autopilot das Triebwerk nicht. Zahlreiche Raumsonden strandeten in der Folge in einem Erdorbit. Von den drei Raumsonden zum Mars gelangten zwar alle in eine Parkumlaufbahn, aber nur „Mars

1“ verließ auch die Erdumlaufbahn. Die beiden anderen wurden Sputnik 22 und 24 getauft und verglühten nach wenigen Tagen wieder.

Doch auch Mars 1 war das Glück nicht hold. Sehr bald nach dem Start verlor die Raumsonde ihren kompletten Vorrat an Druckgas. Mit ihm sollte die räumliche Lage verändert werden. Nun nutzten die Raumfahrttechniker dazu die Kreisel, die als Sekundärsystem an Bord waren. Sie waren jedoch weitaus weniger leistungsfähig als die Düsen. Am 21.3.1963, etwa auf halbem Weg zum Mars, ging der Funkkontakt verloren, als die Antenne von der Erde wegzeigte. Mars 1 vermaß bis zum Ausfall das interplanetare Magnetfeld, und zwei Meteoritenschauer wurden von der Sonde detektiert. Stumm passierte die Raumsonde den Mars am 19.6.1963 in 193.000 km Entfernung.

Darauf stellte die Sowjetunion die Erforschung des Mars vorerst ein, weil es den USA gelungen war, hier die Erstleistung zu erbringen.

Die beiden **Mariner 3+4** Raumsonden der USA wurden nach dem Vorbild der Mariner 1+2 Venussonden entworfen. Die NASA hatte lange gezögert, weil sie ursprünglich ein viel ambitionierteres Projekt geplant hatte. Doch die dafür notwendige Atlas Centaur Trägerrakete lag in der Entwicklung hinter dem Zeitplan zurück. Es war klar, dass sie für das Startfenster von 1964 nicht zur Verfügung stehen würde. Mit dem leistungsfähigsten verfügbaren Träger, der Atlas Agena D, war jedoch die Nutzlast auf 270 kg beschränkt. Zum Vergleich: Mars 1 wog mit 893 kg fast viermal soviel. So wurde die Nutzlast auf ein Minimum reduziert. Wie bei der „1M“ Generation der Sowjets, war das einzige Experiment, das nur den Mars untersuchen sollte, eine kleine TV-Kamera. Die anderen sechs Experimente

bestimmten geladene Teilchen, kosmische Strahlen oder zählten Staubeinschläge auf der Sonde. Auch die USA verloren eine der beiden Sonden durch einen Fehlstart. Eine neue, leichte Nutzlastverkleidung, die entworfen wurde, um die Nutzlast zu maximieren, schmolz beim Aufstieg durch die Reibungshitze. Sie verhinderte, dass Mariner 3 seine Solarpaneele entfalten konnte. Fieberhaft wurde dann die Trägerrakete für die Mariner 4 Sonde umgebaut und erhielt wieder die alte Nutzlastverkleidung aus Metall anstatt Fiberglas. Mariner 4 startete, kurz bevor sich das Startfenster schloss, und erreichte am 15.7.1965 den Mars.

Die Kamera machte 23 Bilder (wobei das Letzte schon nicht mehr komplett auf das Magnetband passte) und übermittelte sie in den nächsten Tagen zur Erde. Die Bilder waren sehr detailarm und hatten nur eine Auflösung von  $200 \times 200$  Pixeln. Sie zeigten keine Canali, obwohl sich einige in dem fotografierten Gebiet hätten befinden müssen. Stattdessen sah man auf den Fotos zahlreiche Einschlagskrater. Es konnte kein Strahlungsgürtel, wie ihn die Erde aufweist, festgestellt werden und das Magnetfeld war unter der Nachweisgrenze des Magnetometers. Das bedeutete, dass der Mars kein oder nur ein sehr schwaches Magnetfeld besitzen musste.



Abbildung 4: Ein Bild von Mariner 4

Die Krater, die gefunden wurden, führten zu einem gewissen Pessimismus. Es schien, als wäre der Mars geologisch genauso langweilig wie der Mond. Mariner 4 hatte aber nur 1,5% der Oberfläche erfasst und leider keinen sehr repräsentativen Ausschnitt. Was Mariner 4 nicht bestimmen konnte, war die Zusammensetzung der Atmosphäre und deren Temperatur und Druck. Es gab dazu keine Messinstrumente an Bord. So schwankten die Schätzungen über den Bodendruck nach dem Vorbeiflug zwischen 10 und 45 hPa, und die Zusammensetzung war weiterhin offen. Die meisten Wissenschaftler gingen allerdings von Stickstoff als Hauptbestandteil der Atmosphäre aus. Was Mariner 4 bestimmen konnte, war durch Bestimmung der Abschwächung des Radiosignals nach Passieren des Planeten eine Obergrenze für den Bodendruck. Dieser lag nun bei maximal 90 hPa.

Zeitgleich mit Mariner 4 startete die russische Raumsonde **Zond 2**. Sie stammte vom Nachfolgeprogramm 3MV. Die Sonden dieses Typs bestanden aus einem gemeinsamen Bus

und einer davon unabhängigen Instrumentensektion oder alternativ einem kleinen Lander. Das Konzept war damit modularer als die Vorgängerversion. Während die ersten drei Sonden 1964 zur Venus aufbrachen, gab es aus bis heute ungeklärten Gründen Probleme bei den Marssonden. Von zwei Exemplaren wurde nur eines gestartet. Dieses wurde nach dem Start „Zond 2“ getauft. Nach dem Start entfalteten sich die Solarzellen nicht vollständig, und so hatte die Raumsonde nur die Hälfte der geplanten Stromversorgung. Knapp vier Monate nach dem Start reichte die Leistung nicht mehr aus, um die wichtigsten Systeme der Sonde zu betreiben, und die Raumsonde verstummte für immer.

Das nächste Startfenster, das sich 1967 öffnete, wurde von keiner der beiden Supermächte genutzt. In Russland plante man eine neue Generation von Landegeräten. Da Mariner 4 als erste Sonde am Mars vorbeigeflogen war, ging Russland gleich zur nächsten Erstleistung über: Die Raumsonden sollten in eine Umlaufbahn um den Mars einschwenken und ein Landegerät absetzen. Für 1967 waren auf dem Design des 3MV Programms basierende Raumsonden geplant, doch gingen die Wissenschaftler in Russland von einem Bodendruck von 0,1 bis 0,3 bar aus, der schon damals nur von wenigen Experten vertreten wurde. Die Bestimmung des maximalen Bodendrucks auf maximal 0,09 bar durch Mariner 4 führte dazu, dass man die Entwicklung dieser Sondengeneration einstellte und eine Neue entwarf. Der Lander wäre bei dieser dünnen Atmosphäre auf dem Mars zerschellt. Die **Mars-69** Sonden nutzten Teile der gleichzeitig entwickelten schweren Luna Sonden. Sie wurden nun erstmals von Lawotschkin entwickelt. Vorher hatte Koroljows Kombinat OKB die Raumsonden gebaut. Doch Koroljow starb 1967. Diese neuen Raumsonden waren viermal schwerer als die letzte Generation. Das erlaubte es nicht nur, mehr und leistungsfähigere Instrumente

mitzuführen, sondern auch eine kleine Kapsel. Sie sollte beim Abstieg durch die Atmosphäre deren Zusammensetzung und physikalische Parameter bestimmen. Diese Ergebnisse sollten genutzt werden, um 1971 Landesonden weich auf der Oberfläche niederzugehen zu lassen.

Doch wieder war der UdSSR das Glück nicht hold. Die schweren Sonden wurden nun mit der Proton Trägerrakete gestartet. Wie die Molnija hatte jedoch auch die Proton ihre Kinderkrankheiten, und beide Raumsonden gingen beim Start verloren.

Zeitgleich bereiteten die USA die **Mariner 6+7** Mission vor. Nun stand die Centaur Oberstufe zur Verfügung. Damit konnte eine dreimal so schwere Raumsonde zum Mars entsandt werden. Da die Mariner 6+7 Sonden nur etwa 50% schwerer als das letzte Paar waren, war es möglich, sie mit dieser leistungsstarken Oberstufe auf eine Bahn zu senden, bei der sie den Mars nach nur fünf Monate passierten. Typisch ist eher eine Reisezeit von 7-10 Monaten. Dieser Rekord wurde bis heute nicht unterboten.

Instrumentell waren die Raumsonden viel besser ausgerüstet als die Vorgänger Mariner 3+4. So verfügten sie über Experimente, um die Marsatmosphäre zu untersuchen. Ein IR-Spektrometer untersuchte die Zusammensetzung der Marsatmosphäre, ein UV-Spektrometer die Ionosphäre. Ein Radiometer bestimmte die Oberflächentemperaturen, und je eine Weitwinkel- und eine Telekamera machten Aufnahmen.

Mariner 6+7 passierten im Juli/August 1969 den Mars und lieferten zusammen 200 Fotos. Der Großteil wurde aus großer Entfernung geschossen, doch es entstanden auch etwa 50 Aufnahmen aus der Nähe, welche etwa 20% der Südhalbkugel abdeckten. Auch wenn auf den Fotos vor

allem Krater zu sehen waren, fand man doch erste geologische Formationen, die man vom Erdmond nicht kannte. So entdeckte man auf den Aufnahmen das sogenannte chaotische Terrain, das durch verschiedene Kräfte geformt ist (tektonische Verschiebungen, flüssiges Wasser, Eis). Mariner 6+7 bestimmten erstmals zuverlässig den Bodendruck und die Zusammensetzung der Marsatmosphäre. Diese Daten waren essenziell für die Viking Mission, die im selben Jahr genehmigt wurde. Sie waren notwendig für die Dimensionierung des Fallschirmsystems zur Landung sowie den benötigten Schub und Treibstoffvorrat. Auf einem der Fotos war auch der Schatten von Phobos zu sehen. So wurde die Größe und unregelmäßige Form des Mondes erstmals bestimmt.

Nach dem erfolgreichen Vorbeiflug ging die NASA den nächsten Schritt. 1971 war ein besonders günstiges Startfenster zum Mars. Das bedeutete, dass die Nutzlast maximal war. Die Atlas Centaur konnte in diesem Jahr fast eine Tonne auf den Weg bringen. Das JPL plante daher, zwei Raumsonden in eine Umlaufbahn um den Mars einschwenken zu lassen. Da Mariner 6+7 so gut gearbeitet hatten, wurde dazu das Design dieser Sonden weitgehend unverändert übernommen. Es wurde nur um ein Triebwerk mit zwei Treibstofftanks erweitert. Auch die Instrumente waren weiterentwickelte Mariner 6+7 Versionen. So waren die doppelt so schweren Raumsonden sogar noch preiswerter als ihre Vorgänger, da die Entwicklungskosten geringer waren.

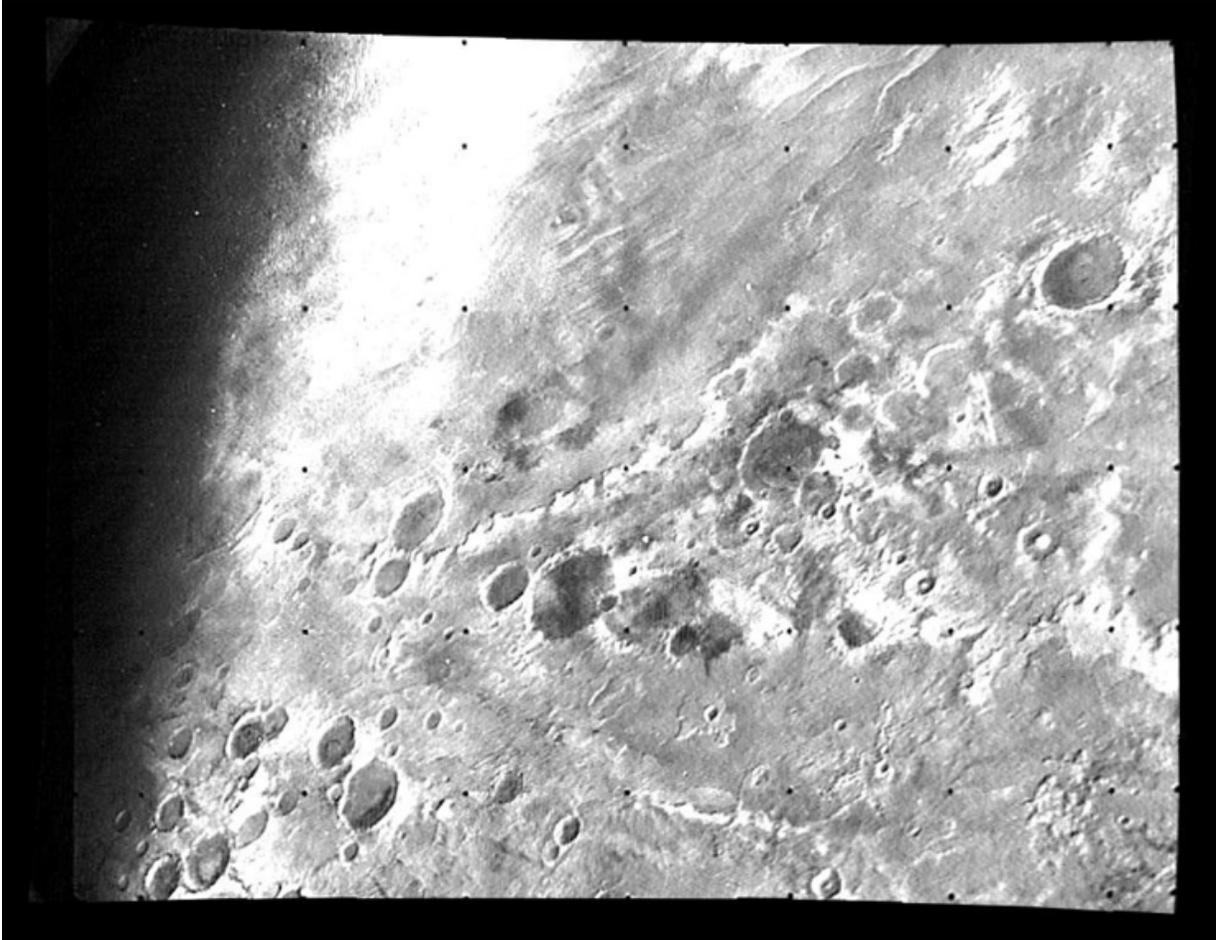


Abbildung 5: Mariner 7 Aufnahme von chaotischem Terrain

Vorgesehen war eine Arbeitsteilung: Mariner 8 sollte innerhalb von 90 Tagen 70% der Oberfläche in niedriger Auflösung erfassen und **Mariner 9** die restlichen 30%, die Mariner 8 aufgrund ihrer hochelliptischen Umlaufbahn nur aus größerer Entfernung fotografieren konnte. Weiterhin sollte Mariner 9 bestimmte Gebiete periodisch auf Veränderungen, vor allem atmosphärische Phänomene, untersuchen. Nachdem Mariner 8 durch einen Programmierfehler des Centaur Bordcomputers verloren ging, musste Mariner 9 beide Aufgaben erfüllen. Als sie am Mars ankam, gab es erst einmal gar nichts zu beobachten: Bei Erreichen des sonnennächsten Punktes ist die Gefahr groß, dass die Erwärmung der Marsatmosphäre Staub

aufwirbelt. Ab und zu wird daraus ein globaler Staubsturm. So war es auch 1971. Nur die Spitzen der höchsten Vulkane ragten noch aus dem Staubsturm heraus. Nach einigen Wochen klang dieser ab, und Mariner 9 konnte endlich mit der Kartierung beginnen. Die Sonde arbeitete fast 11 Monate lang, danach war der Vorrat an Druckgas für die Lageregelung erschöpft. Über 7.000 Bilder wurden übertragen, die den ganzen Planeten mit 1-2 km und etwa 1-2 % der Oberfläche mit 100 m Auflösung zeigten.

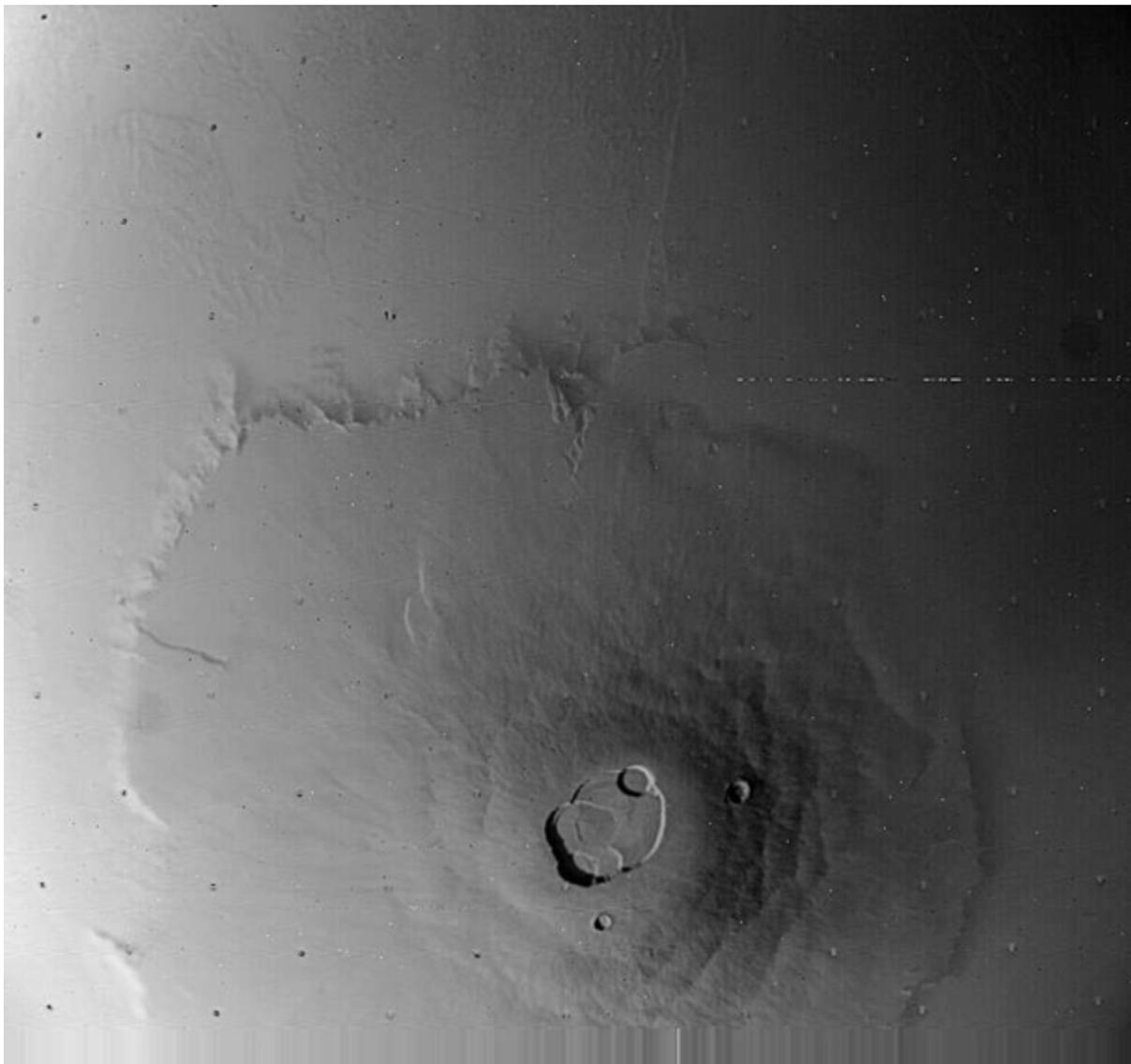


Abbildung 6: Mariner 9 Aufnahme des Olympus Mons

Diese Differenz beruhte auf den unterschiedlichen Brennweiten der Kameras.

Zeitgleich bereitete auch die Sowjetunion den Start weiterer Sonden vor. Wie bei Mars-69 war eine Landung auf dem Mars geplant. Das günstige Startfenster ließ den Start eines Orbiters und eines

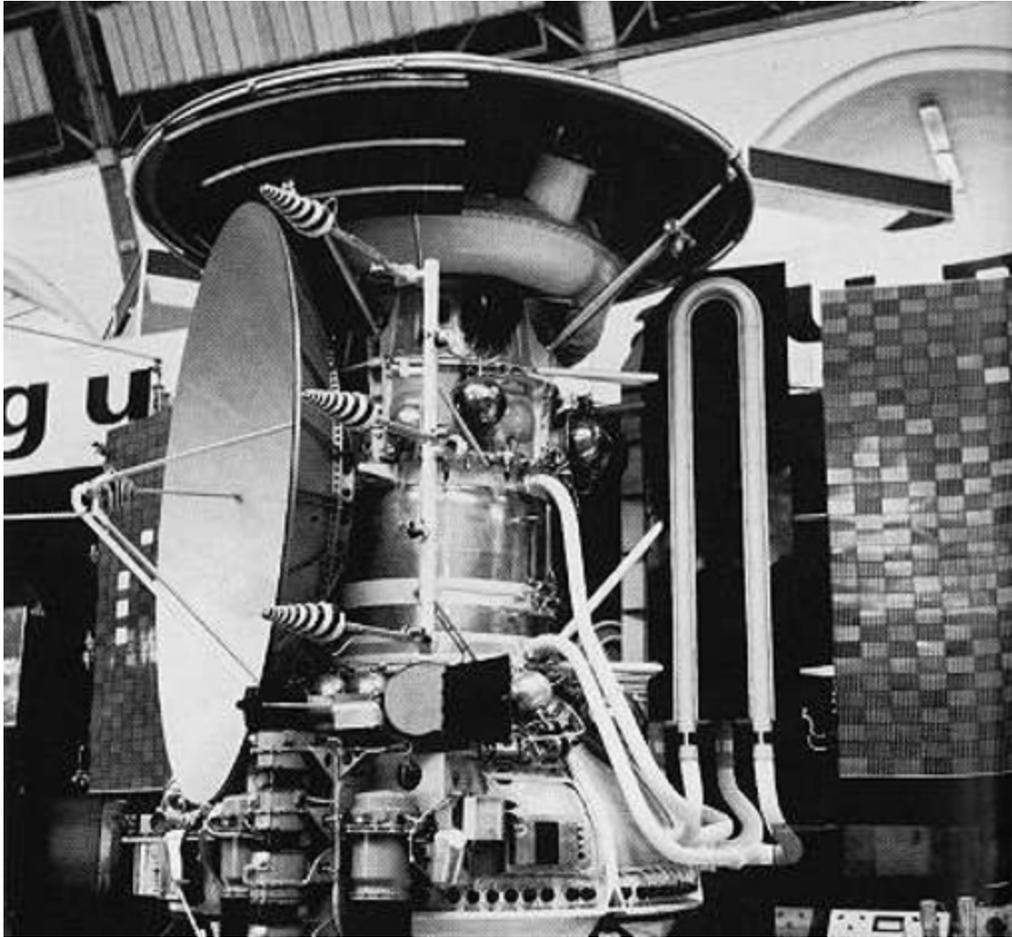


Abbildung 7: Mars 3 Orbiter mit dem oben angebrachten Landeapparat

wesentlich schwereren Landeapparates als bei der vorherigen Mission zu. Es fehlten aber die für die Landung notwendigen Daten der Atmosphäre. Daher entschloss man sich dazu, drei Sonden zu starten: Zwei mit den Landeapparaten und eine ohne, diese dafür mit mehr Treibstoff und auf einer schnelleren Bahn. Diese Sonde sollte

zuerst gestartet werden und vor den beiden anderen Mars erreichen, in eine Umlaufbahn einschwenken und durch Fernerkundungsinstrumente die nötigen Daten für die Auslegung des Landekorridors und die Auslösung der Fallschirme liefern.

Unglücklicherweise ging genau diese Sonde verloren, als durch einen Programmierfehler die Oberstufe nicht zündete und die Sonde so in einem Erdorbit strandete. Sie wurde in Kosmos 419 umgetauft.

Der Start von **Mars 2+3** klappte, doch hatten sie nicht genügend Treibstoff, um mit dem Landeapparat in eine Umlaufbahn einzutreten. Er musste vorher abgetrennt werden. Die Wissenschaftler hofften nun, wenige Stunden vor dem Erreichen des Mars genügend Daten von den Instrumenten gewinnen zu können, um die Landesonden in einen sicheren Korridor absetzen zu können.

Beide Landesonden wurden auch abgesetzt. Der Landeapparat von Mars 2 gelangte aber durch einen Computerfehler auf eine falsche Bahn, die zu einem harten Aufschlag auf der Marsoberfläche führte.

Die Kapsel von Mars 3 landete dagegen erfolgreich, begann das erste Bild zu übermitteln, um nach wenigen Zeilen zu verstummen. Was passierte, ist bis heute ungeklärt. Es wurde spekuliert, dass der Staubsturm den Fallschirm über die Kapsel wehte oder es zu elektrischen Entladungen kam, welche die Sonde beschädigten. Beide Orbiter gelangten auf ungeplante Bahnen. Bei Mars 2 war der marsfernste Punkt zu nahe und bei Mars 3 zu fern. Auch hier waren Fehler in den Computerprogrammen die Ursache. Einige Instrumente fielen aus, andere lieferten nur wenige Daten, weil während der wenigen Wochen der Betriebszeit noch der Staubsturm