

WIS wissenschaft
in die schulen!

Reisen zu den Planeten

Teil 2: Die Nachbarn der Erde

Mit der Erkundung der erdähnlichen Planeten Merkur, Venus und Mars begann in den 1960er Jahren der erste Abschnitt der Planetenforschung mittels Raumsonden. Mittlerweile erreichten Mars und Venus dutzende von Raumfahrzeugen, die uns die besonderen Eigenschaften dieser Welten enthüllten.

Von Manfred Gottwald

Die interplanetaren Aktivitäten der beiden aufstrebenden Raumfahrtnationen USA und UdSSR konzentrierten sich zunächst auf unsere unmittelbaren Nachbarplaneten Venus und Mars, weil sie aus technischer Sicht relativ einfach zu erreichen waren. Den erfolgreichen Auftakt machte 1962 die US-Raumsonde Mariner 2, die erste Daten von der Venus lieferte.

Alle 19 Monate öffnet sich ein Zeitfenster zur Venus, innerhalb dessen eine Raumsonde den Planeten erreichen kann. Nach Mariner 2, dem Urahn aller interplanetaren Sonden, folgten weitere 19 erfolgreiche Flüge zur Venus. Mariner 2 passierte einen Himmelskörper, über dessen

Oberflächen- und Atmosphärenzustand die Wissenschaftler zuvor nur hatten spekulieren können. Einzig erste Radarbeobachtungen von der Erde aus hatten Hinweise für eine rückläufige Rotation der Venus mit einer Periode von etwa 240 Tagen ergeben. Zum Zeitpunkt der größten Annäherung tastete Mariner 2 den Planeten mit einem Radiometer ab. Die Daten offenbarten eine sehr heiße Oberfläche mit einer Temperatur von mehr als 400 Grad Celsius. Außerdem registrierte das mitgeführte Magnetometer kein merkliches Magnetfeld; die Messungen in Venusnähe unterschieden sich nicht von denjenigen, die während des Anflugs im interplanetaren Raum gemacht wurden.

Fünf Jahre später, im Oktober 1967, erhielt unser innerer Nachbarplanet gleich von zwei Raumfahrzeugen Besuch. Die NASA-Sonde Mariner 5 flog wie ihr Vorgänger Mariner 2 an der Venus vorbei. Als sie von der Erde aus gesehen hinter dem Planeten verschwand, wurden ihre Funksignale beim Durchgang durch die Venusatmosphäre modifiziert. Daraus ließen sich Zustandsdaten der Atmosphäre bis zu einer Höhe von 40 Kilometern über der festen Oberfläche ermitteln. Der Bodendruck wurde auf das 75- bis 100-Fache des irdischen Wertes geschätzt.

Die sowjetische Sonde Venera 4 sollte weich auf der Venusoberfläche landen. Wenn man bedenkt, wie wenig man über deren Zustand wusste, war dies ein äußerst ehrgeiziges Ziel. Die Konstruktion von Venera 4 war sogar noch für ein Auftreffen auf Gewässern ausgelegt! Bereits die Vorgängermission Venera 3 hatte Anfang 1966 eine Landesonde abgesetzt; doch war bereits bei Erreichen des Planeten der Funkkontakt abgerissen. Die Landesonde gelangte vermutlich als erstes irdisches Raumfahrzeug auf die Oberfläche eines anderen Planeten, zerschellte jedoch dabei.

50 Jahre Planetenforschung

Harald Krüger: **Vorstoß ins Sonnensystem**

Teil 1: Die erdähnlichen Planeten

Teil 2: Die Gasriesen, ihre Monde und die Kleinkörper

Manfred Gottwald: **Reisen zu den Planeten**

Teil 1: Die ersten Schritte

Teil 2: Die Nachbarn der Erde

Teil 3: Jenseits des Mars

August 2012

September 2012

Oktober 2012

November 2012

Dezember 2012



NASA

Bislang konnten nur sowjetische Raumsonden die Venusoberfläche direkt fotografieren. Diese Panoramen zeigen die Landeplätze von Venera 9 (oben) sowie Venera 13 (Mitte und unten). Im mittleren Bild ist eine der gewonnenen Farbaufnahmen eingebildet.

Wissenschaftler des Jet Propulsion Laboratory präsentieren auf Papiausdruck Messdaten, die 1962 während des Vorbeiflugs von Mariner 2 an der Venus gewonnen wurden.

Venera 4 war mehr Erfolg beschieden. Die ausgesetzte Landekapsel sandte während ihres Abstiegs durch die Venusatmosphäre 93 Minuten lang Daten. Als ihr Sender dann verstummte, betrug die Temperatur 280 Grad Celsius und der Druck das 22-fache des irdischen Luftdrucks. Die sowjetischen Wissenschaftler vermuteten zunächst, das Landegerät von Venera 4 habe tatsächlich die Oberfläche erreicht. Doch da die Konstrukteure die Dichte der Venusatmosphäre unterschätzt hatten, war der Fallschirm der Kapsel zu groß dimensioniert und sie sank langsamer als geplant. Erst ein Vergleich mit den Ergebnissen von Mariner 5 ordnete die Daten korrekt ein. Die Landekapsel von Venera 4 hatte demnach ihre Messungen bereits bei einer Höhe von 52 Kilometern begonnen, und sie wurde in 26 Kilometer Höhe durch den hohen Druck zerquetscht.

Auf Venera 4 folgte eine ununterbrochene Serie gelungener Flüge zur Venus, die bis zu Venera 16 im Jahr 1983 reichen sollte. Bereits 19 Monate später wiederholten Venera 5 und 6 den Versuch einer Landung. Mit nun kleineren Bremsfallschirmen dauerte es nur etwas mehr als 50 Minuten, bis sie ihre jeweilige Mini-

malhöhe erreichten, in der die Datenübertragung endete: Venera 5 verstummte bei 20 Kilometern, Venera 6 bei 12 Kilometern Höhe. Immerhin verfügten die Wissenschaftler nun über ein gewisses Verständnis der Venusatmosphäre, die zu mehr als 90 Prozent aus Kohlendioxid besteht.

Für einen weiteren Landeversuch wurde die nächste Sonde Venera 7 nochmals besser den extremen Umweltbedingungen angepasst. Tatsächlich traf sie im Dezember 1970 mit einer Geschwindigkeit von 17 Metern pro Sekunde auf der Ve-

Die Lander von Venera 9 und 10 sandten erstmals schwarz-weiße Bilder der Venusoberfläche zur Erde.

nusoberfläche auf und verstummte nach einer Sekunde – jedoch nur scheinbar, wie sich hinterher herausstellte. Als die Signale später nochmals analysiert wurden, fand sich im dominierenden Rauschen ein schwaches, 23 Minuten lang andauerndes Signal der Landekapsel. Offenbar war Venera 7 so hart aufgeprallt, dass die kugelförmige Sonde nach einigen Sprüngen auf der Seite zu liegen kam, so dass nur ein sehr schwaches Signal des Bord-senders die Erde erreichen konnte. Mit Ve-

nera 7 war es erstmals gelungen, nach geglückter Landung Daten von der Oberfläche eines Planeten zu empfangen (siehe Grafik S. 46).

Nach Venera 8, die 1972 zusätzlich Messungen der Bodenbeschaffenheit und der Helligkeit unterhalb der Wolkendecke lieferte, trafen mit Venera 9 und 10 im Oktober 1975 wiederum zwei Sonden fast gleichzeitig bei unserem Nachbarn ein. Nach dem Absetzen ihrer Lander schwenkten Venera 9 und 10 in Umlaufbahnen um die Venus ein. Aus dieser Warte erkunde-

ten sie erstmals die Atmosphäre und ihre Wolkensysteme über einen längeren Zeitraum hinweg. Beide Landekapseln erreichten die Oberfläche und sandten für mehr als 50 Minuten Daten. Darunter befanden sich die ersten Bilder von der Oberfläche eines anderen Planeten: Die schwarz-weißen Detailansichten der Landeplätze zeigten unterschiedliches Terrain, einerseits Boden in jungem Bergland, andererseits alten, stark verwitterten Untergrund.

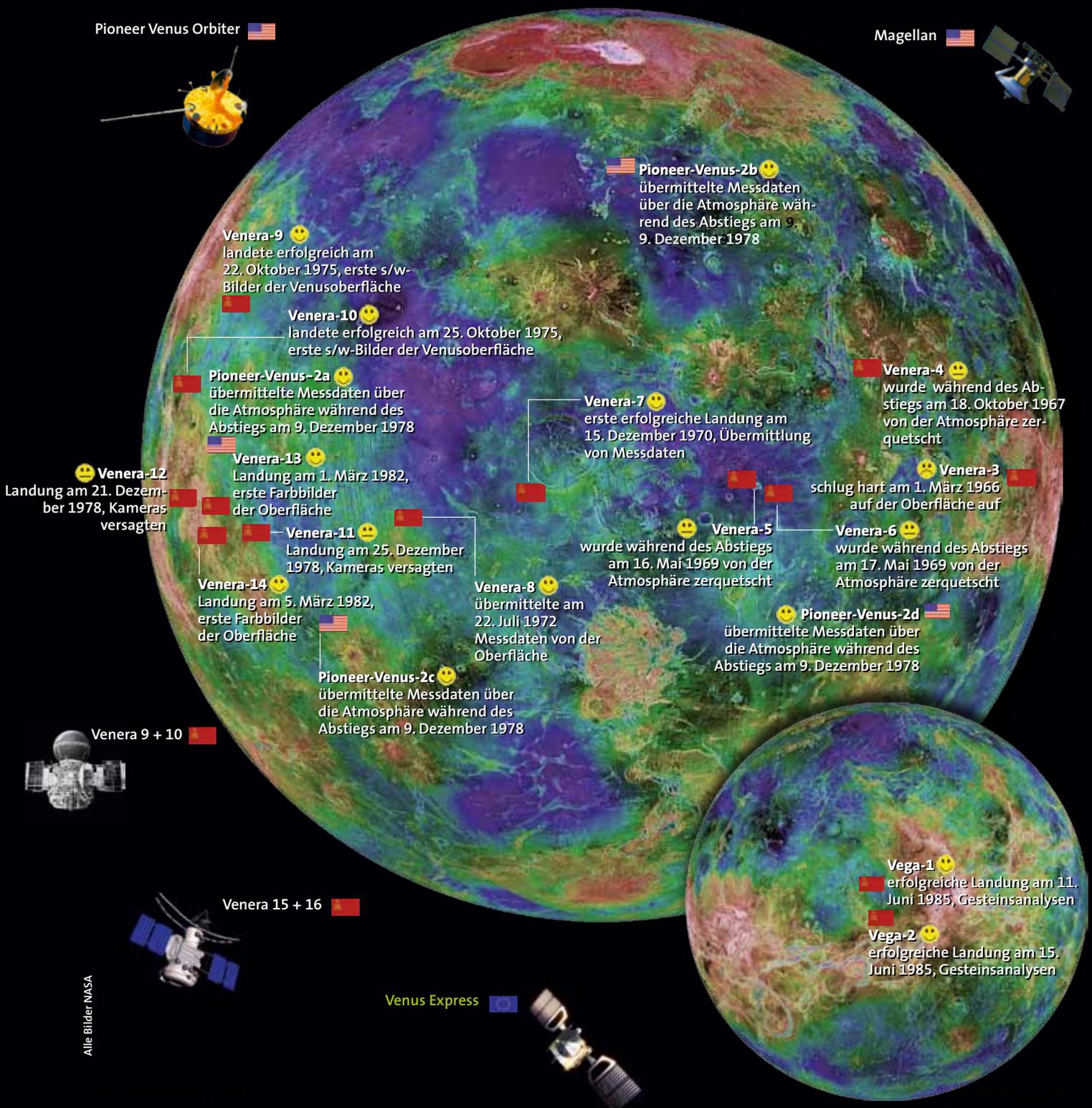
Flüge zur Venus

Unser innerer Nachbarplanet war das erste Ziel interplanetarer Raumsonden. Bereits im Dezember 1962 flog die erste erfolgreiche Planetensonde überhaupt, Mariner 2, an der Venus vorbei. Besonders die ehemalige Sowjetunion zeigte starkes Interesse an der Venus und konzentrierte ihre Anstrengungen auf diesen Planeten. Insgesamt 28 Sonden wurden von der UdSSR auf den Weg gebracht, von denen aber nur ein Teil ihr Ziel erreichte.

Mit Venera 3 kam am 1. März 1966 das erste Objekt aus Menschenhand auf der heißen Oberfläche an. Allerdings zerschellte die Sonde dabei. Erst Venera 4 funkte 1967 Daten von ihrem Abstieg

zur Erde, bevor sie von der dichten Atmosphäre zerquetscht wurde. Im Jahr 1975 übermittelten Venera 9 und 10 erste Schwarz-Weiß-Bilder von der Oberfläche, denen 1982 die ersten Farbbilder von Venera 13 und 14 folgten. Seit den erfolgreichen sowjetischen Landemissionen Vega 1 und 2 im Jahr 1985 hat keine Sonde mehr die Venusoberfläche erreicht.

Insgesamt sieben Orbiter schwenkten seit dem Jahr 1975 in eine Umlaufbahn um die Venus ein. Von ihnen ist nur noch die europäische Raumsonde Venus Express aktiv, die seit 2006 den Planeten umrundet (grün beschriftet).



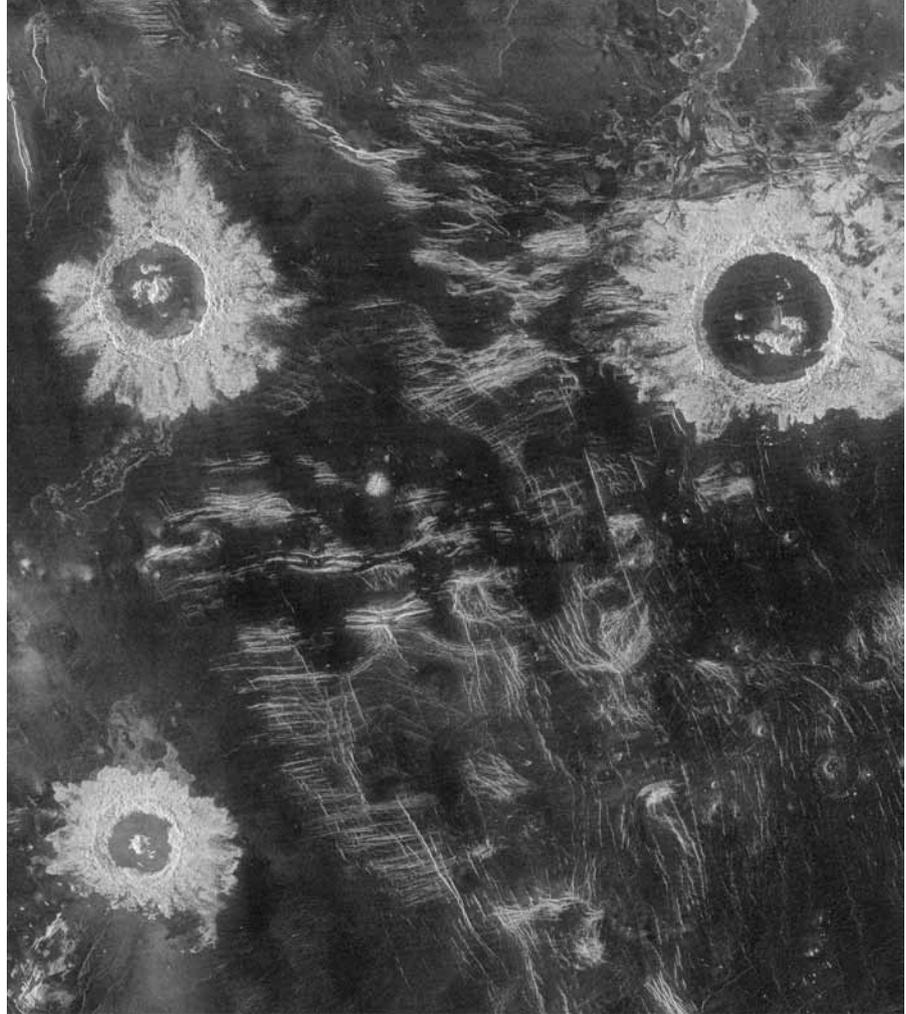
Die nächsten nach einer Landung zurückgefunkteten Fotos der Venus wurden 1982 von Venera 13 und 14, diesmal sogar in Farbe, aufgenommen. Bei den Vorgängern Venera 11 und 12 im Jahr 1978 hatten die Kamerasysteme versagt, da sich die Schutzkappen nicht von den Objektiven lösten. Alle vier Sonden funkten jeweils mehr als 60 Minuten lang Daten von der Venusoberfläche.

Die in grügelbe Töne getauchte felsige Landschaft auf den Aufnahmen von Venera 13 und 14 erschien unter einem orangefarbenen Himmel. Dieser Farbeffekt wird durch die Absorption des blauen Spektralanteils in der Atmosphäre verursacht (siehe Bild auf S. 45). Beide Sonden waren die bisher am weitesten entwickelten Landegeräte. Mit ihren zahlreichen Experimenten glichen sie kleinen vollautomatischen Laboratorien zur Untersuchung der Atmosphäre und des Gesteins.

Schließlich beendeten die Missionen mit den Bezeichnungen 15 und 16 im Oktober 1983 die Serie der Venera-Flüge. Diesmal verzichteten die sowjetischen Forscher auf Landekapseln. Stattdessen führten die Sonden Radarantennen zur Kartierung der Oberfläche bei einer Wellenlänge von acht Zentimetern mit. Solch langwellige Strahlung durchdringt die Wolkendecke und ermöglicht aus einer Umlaufbahn den Blick auf die Oberfläche. Die Messungen nach dem Prinzip des Radars mit synthetischer Apertur (SAR) deckten die nördliche Hemisphäre der Venus bis zu einer Breite von 25 Grad Nord ab und erreichten eine räumliche Auflösung von ein bis zwei Kilometern. Zusätzlich bestimmte ein Radar-Altimeter das Höhenprofil in dieser Region.

Dies waren aber nicht die ersten Radaruntersuchungen aus einem Venusorbit. Elf Jahre nach Mariner 5 war die NASA im Dezember 1978 mit den beiden Missionen Pioneer Venus 1 und 2 zur Venus zurückgekehrt. Ein Altimeter an Bord des Orbiters Pioneer Venus 1 hatte im Laufe der 14-jährigen Mission die Topografie des Planeten ebenfalls kartiert, wenngleich mit deutlich geringerer Auflösung. Zusätzlich wurde die lange Missionsdauer im Venusorbit genutzt, die Atmosphäre ausführlich zu untersuchen.

Pioneer Venus 2 trug dagegen vier Atmosphärenkapseln, eine große und drei kleine. Alle vier untersuchten während ihres Abstiegs in unterschiedlichen Regionen die Atmosphäre. Ein Betrieb nach



In der venusischen Region Lavinia befinden sich drei Einschlagkrater mit Durchmessern von 37 bis 50 Kilometern. Die Aufnahme entstand mit dem Radarsensor der Raumsonde Magellan im September 1990.

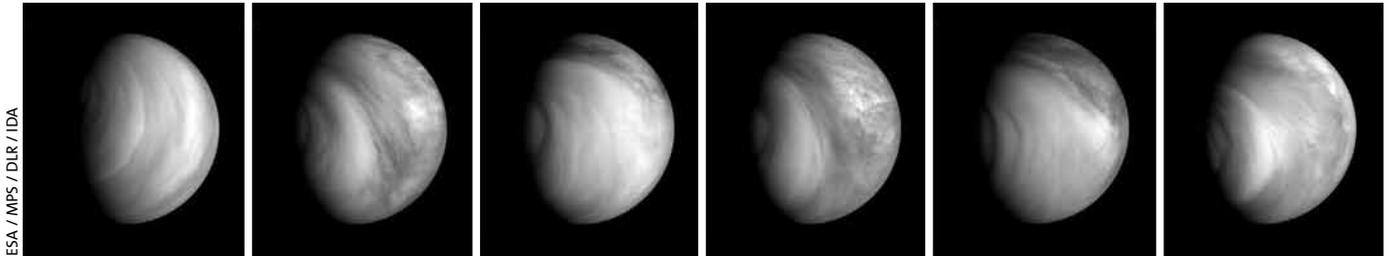
dem Aufprall am Boden war nicht eingeplant. Die große Kapsel und zwei der kleinen verstummten auch tatsächlich beim Erreichen der Oberfläche; die vierte, auf der Tagseite gelandete Kapsel setzte aber noch länger als 65 Minuten ihre Datenübertragung fort.

Ballons am Venushimmel

Bereits in den 1970er Jahren existierende Ideen, die Venus mit einem in ihrer Atmosphäre treibenden Ballon zu untersuchen, wurden im Rahmen der Vega-Missionen zum Kometen Halley verwirklicht. Ihre Reise zu Halley führte Vega 1 und 2 im Juni 1985 an der Venus vorbei, wo sich jeweils eine Landekapsel, die einen Ballon zur Untersuchung der Venusatmosphäre enthielt, abtrennte. Beim Abstieg der Landekapsel auf der Nachtseite des Planeten wurden die Ballone abgesetzt und drifteten ab einer Höhe von 54 Kilometern in starken Strömungen mehr als 11 000 Kilometer westwärts. Nach 46 Stunden, auf der Tagseite des Planeten, verstummten schließlich ihre Signale. Zusätzlich liefer-

ten beide Landegeräte Daten, sowohl während sie zur Oberfläche hinabschwebten als auch nach ihrem dortigen Aufsetzen. Vega 1 und 2 waren die letzten von 19 erfolgreichen Besuchen bei der Venus in weniger als 25 Jahren.

Die nachfolgenden 25 Jahre sollten nur noch zwei derartige Unternehmungen bringen – die Sonden Magellan der NASA und Venus Express der Europäischen Raumfahrtbehörde ESA. Mit Magellan beendete die NASA eine mehr als zehnjährige Lücke, in der sie keine interplanetaren Sonden auf den Weg gebracht hatte. Magellan sollte möglichst vollständig und detailliert die Oberfläche kartieren. Einziges Instrument an Bord war ein Radarsystem, das bei einer Wellenlänge von 12,6 Zentimetern im SAR- oder Altimetriemodus arbeitete. Zwischen September 1990 und September 1992 wurden damit 98 Prozent der Venus mit einer räumlichen Auflösung von 100 Metern erfasst, ergänzt durch topografische Informationen mit einer Höhenauflösung von rund 30 Metern (siehe Bild oben).



ESA / MPS / DLR / IDA

Stark variable Wolkenstrukturen in der südlichen Venusatmosphäre, die im Ultraviolett-Bereich sichtbar sind, nahm die Venus Monitoring Camera der europäischen Raumsonde Venus Express auf. Die hellen Bereiche enthalten vermutlich Schwefelsäurepartikel.

Nachdem die gesamte Oberfläche abgetastet worden war, folgte bis zum Missionsende eine Phase, in der zusätzlich aus Umlaufdaten der Sonde das Schwerefeld des Planeten vermessen wurde. Die Ergebnisse von Magellan erlaubten es, ein grundlegendes Verständnis der geologischen Struktur der Venus zu entwickeln.

Als vorerst letzte Venussonde umkreist seit 2006 die europäische Sonde Venus Express ihr Ziel. Primär untersucht sie die Atmosphäre und ihre Zusammensetzung, den extremen Treibhauseffekt, die Wolkensysteme sowie den Zustand der Oberfläche (siehe Bildserie oben). Letzterer lässt sich im Infrarotbereich beobachten, da die dichte Atmosphäre in einem der spektralen Fenster transparent erscheint. Venus Express wird noch mindestens bis Ende 2014 aktiv bleiben.

Heute, nach fünf Jahrzehnten interplanetarer Raumfahrt, kennen wir die Venus als eine Welt, die von einer fast ausschließlich aus Kohlendioxid bestehenden Atmosphäre eingehüllt ist. Dichte Wolkenschichten aus Schwefeldioxid und Schwefelsäuretröpfchen reflektieren einen Großteil des einfallenden Sonnenlichts. Ein enormer Treibhauseffekt hält die Temperatur am Boden bei mehr als 400 Grad Celsius. Zusammen mit dem fast 100-fach höheren Luftdruck sind die Bedingungen für Leben vollkommen ungeeignet.

Geologisch erscheint die Venusoberfläche mit etwa 500 Millionen Jahren relativ jung, was auf Episoden starker vulkanischer Aktivität hindeutet. Anders als bei der Erde sind keine Anzeichen für eine globale Plattentektonik zu erkennen. Ob

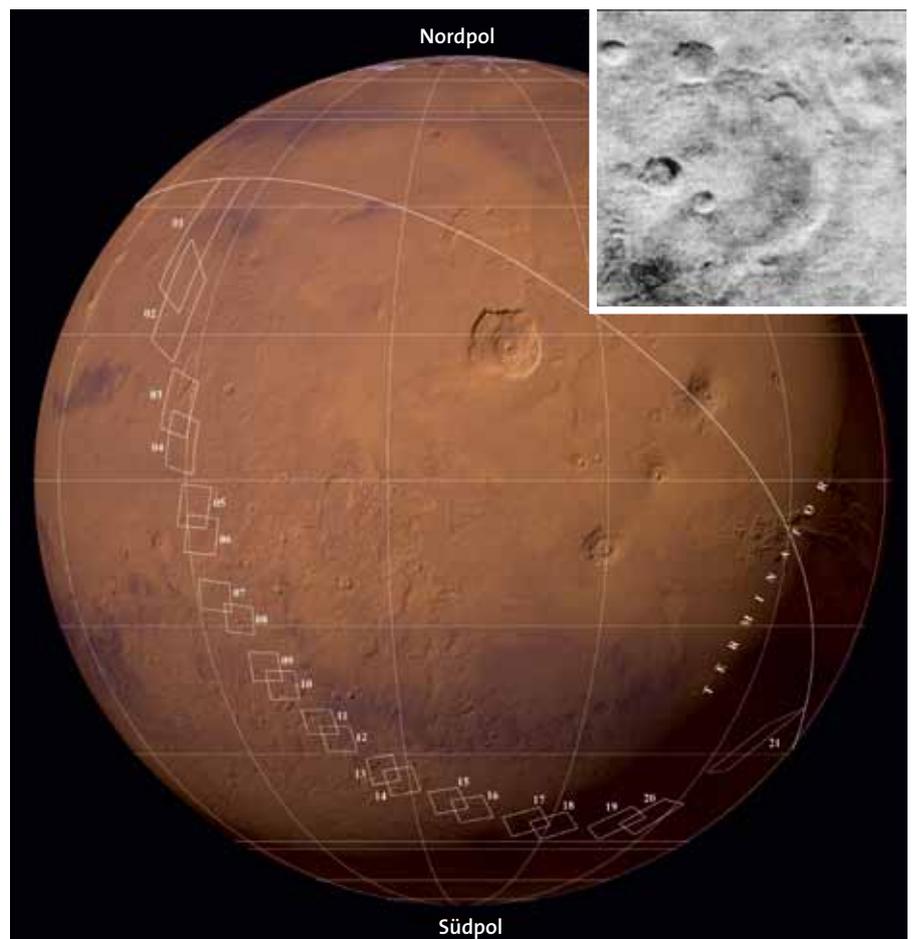
dies jedoch auf die ferne Vergangenheit zutrifft, ist nicht geklärt – ebenso wie die Möglichkeit, dass der heute trockene Planet einstmals große Mengen an Wasser aufwies.

Mars, der Wüstenplanet

Unser äußerer Nachbar lässt sich mit ähnlichem Aufwand erreichen wie die Venus, nur liegen die Fenster für einen geeigneten Starttermin 26 Monate auseinander. Die dünne Marsatmosphäre erlaubt sogar schon bei einfachen Vorbeiflügen einen Blick auf die Oberfläche. Deshalb war bereits das erste Raumfahrzeug, das den Mars besuchte, mit einer Kamera aus-

gerüstet. Die US-Raumsonde Mariner 4 zog im Juli 1965 in einer Entfernung von 9850 Kilometern am Roten Planeten vorbei und fotografierte dabei etwa ein Prozent seiner Oberfläche. Die fehlerfreie Funktion der Sonde war ein großer Erfolg. Wer aber bei den Bildern auf spektakuläre Szenen gehofft hatte, wurde enttäuscht – es zeigte sich eine mondähnliche Landschaft mit Kratern, jedoch nirgends eine Spur von wenigstens niederen Lebensformen oder Wasser (siehe Bild unten).

Die Sonden Mariner 6 und 7 kamen bei ihren Vorbeiflügen im Sommer 1969 der Marsoberfläche fast dreimal näher als ihre Vorgängerin. Danach waren 20 Pro-



NASA / JPL

Die US-Raumsonde Mariner 4 erfasste im Jahr 1965 mit 21 Aufnahmen rund ein Prozent der Marsoberfläche. Eines der Bilder, Nummer 11, ist oben rechts eingebildet. Es zeigt die Kraterlandschaft des alten Hochlands auf der Südhemisphäre.

Teleskopsteuerung LFE Photo



ab 599,-

Features:

- Goto, Encoder
- USB, Ethernet
- Motorfokus
- DSLR Control
- ST4, RTC
- und vieles mehr

10 % SuW Rabatt im Onlineshop
Code: pI&vw-N7/s4Jk+zh
(1x pro Kunde, gültig bis 30.11.2013)

Große Auswahl an Zubehör:

z.B.: Motorsets, Dachsteuerung,
GPS Maus, Netzteile,
Tiny Interface, Motorkabel,
DSLR - Kabel, SD Karte, u.s.w.



G11 Motorset für schnelles Goto
WLAN für kabellose Steuerung
Spacer für große Schwenkfreiheit

Fragen Sie auch nach kompletten
Umbaukits für G11, EQ6, EQ5, GP-
DX usw., sowie fertige Kompletts
für Einsteiger und Fortgeschrittene.

www.teleskopsteuerung.de
Computer

Höll + Schm GmbH
Kirchbergstrasse 34
66773 Schwallbach
06834 - 9569902

info@teleskopsteuerung.de



Bildverarbeitung in Zeiten von Schere und Kleber: so wurden Aufnahmen von Mariner 9 aus dem Jahr 1972 zu einem Mosaik zusammengestellt. Die Aufnahme links oben zeigt ein Einzelbild des westlichen Rands der Valles Marineris.

zent des Terrains erfasst. Strukturen, wie man sie früher vermeintlich von der Erde aus gesehen hatte, zeigten sich weiterhin nicht in den Aufnahmen. Ein vollständiges Bild erhielten die Planetenforscher weitere zwei Jahre später ab November 1971, als Mariner 9 als erste Raumsonde überhaupt in eine Umlaufbahn um einen anderen Planeten einschwenkte.

Wegen eines globalen Sturms hüllte sich der Mars bei Ankunft von Mariner 9 in Staub, so dass die Kartierung erst nach zwei Monaten, im Januar 1972, begann. Jetzt erst kamen die geologisch interessanten Regionen ins Blickfeld – wie etwa die großen Schildvulkane mit Olympus Mons, das enorme äquatoriale Canyonsystem, nach seiner Entdeckermission Valles Marineris genannt, oder Landschaften, die durch fließendes Wasser geformt sein mussten (siehe Bild oben). Auch die beiden Monde Phobos und Deimos wurden erstmals detailliert abgebildet.

Die ersten Mariner-Missionen hatten zusätzlich wesentliche Eigenschaften der Marsatmosphäre entschlüsselt: Kohlendioxid als dominantes Gas, ein Bodendruck, der in etwa einem Prozent des irdischen Werts entspricht, und durchschnittliche Temperaturen deutlich unter dem Gefrierpunkt.

Kurz nach Mariner 9 erreichten auch die ersten beiden Marssonden der UdSSR

den Planeten. Zwar schlug der Lander von Mars 2 durch einen Computerfehler hart auf – was ihn immerhin zum ersten von Menschenhand gebauten Objekt machte, das die Oberfläche erreichte –, der Orbiter übermittelte jedoch neun Monate lang Daten, genauso lange wie der Orbiter von Mars 3 (siehe Grafik S. 50). Dessen Lander erreichte sein Ziel und setzte weich auf der Marsoberfläche auf. Aus unbekanntem Gründen brach aber die Übertragung nach nur 20 Sekunden ab. Ob das einzig empfangene Bild nur Rauschen enthält oder den Horizont an der Landestelle darstellt, ließ sich nie eindeutig klären. Die Ergebnisse der beiden russischen Unternehmungen, insbesondere das Bildmaterial, gingen wohl letztlich in der reichen Ausbeute von Mariner 9 weitgehend unter.

Für den Februar 1974 war die Ankunft einer aus vier Fahrzeugen bestehenden sowjetischen Marsflotte angekündigt. Davon verfehlte Mars 4 den Orbit, konnte aber im Vorbeiflug einige Aufnahmen zur Erde übermitteln; der Lander von Mars 6 verstummte direkt nach dem Aufsetzen, und das Landegerät von Mars 7 war ein Totalausfall, da es den Planeten verfehlte und in größerem Abstand vorbeiflog. Nur Mars 5 absolvierte in einer dreiwöchigen Phase ein kurzes Beobachtungsprogramm.

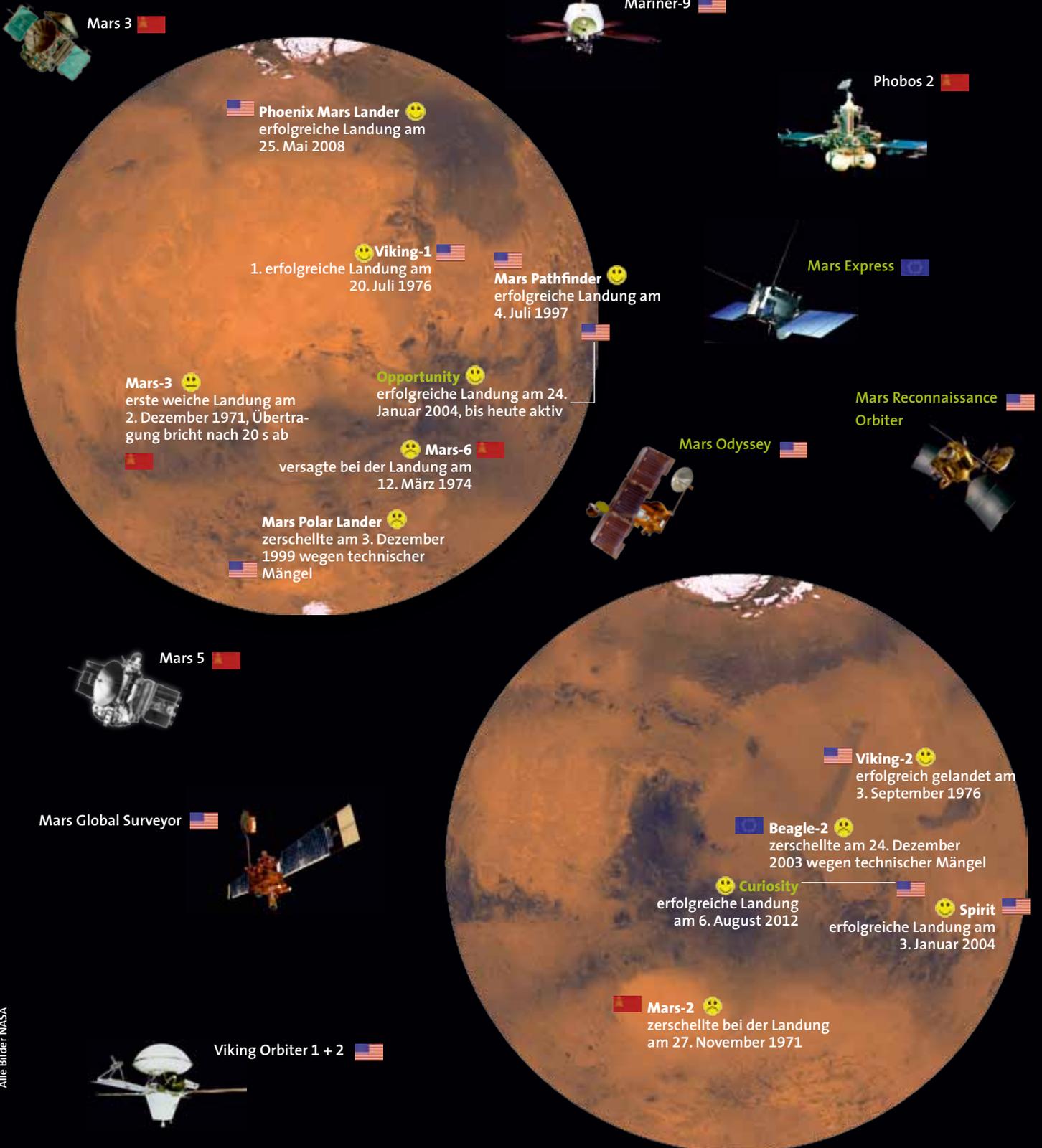
Damit endeten die russischen Marsambitionen für 15 Jahre. Aber auch die erste

Flüge zum Mars

Seit dem Jahr 1971 haben insgesamt zwölf Landesonden die Oberfläche des Roten Planeten erreicht, davon waren sieben erfolgreich. Letztere wurden alle von den USA auf den Weg gebracht. Den Versuchen der ehemaligen UdSSR, dem heutigen Russland und den Europäern war dagegen bislang kein Erfolg beschieden. Der jüngste Neuzugang auf der Marsoberfläche ist der US-Marsrover Curiosity, der am 6. August 2012 erfolgreich im Krater Gale landete (siehe unteres Planetenbild). Somit sind derzeit zwei Sonden auf der Marsoberfläche aktiv (grüne Beschriftung). Die zweite Mission ist der US-Marsrover Opportunity, der seit Januar 2004 die Region

Meridiani Planum erkundet und dabei rund 35 Kilometer zurückgelegt hat.

In der Umlaufbahn um den Mars befinden sich insgesamt neun Orbiter, davon sind drei noch aktiv (grüne Beschriftung). Bislang ist noch keine der in eine Marsumlaufbahn gelangten Sonden in der Atmosphäre verglüht oder auf den Planeten gestürzt. Aus dem Marsorbit erreichen uns derzeit Bilder und Daten von Mars Odyssey, die seit 2001 den Planeten umrundet, von der europäischen Sonde Mars Express (seit 2003 im Umlauf) und vom Mars Reconnaissance Orbiter (er trat 2006 in eine Umlaufbahn ein).



Rückkehr zum Roten Planeten im Jahr 1989 mittels der beiden Phobos-Missionen misslang weitgehend; nur Phobos-2 übersandte Daten aus dem Marsorbit, bis nach zwei Monaten der Kontakt kurz vor dem geplanten Rendezvous mit Phobos verloren ging.

Wikinger und Pfadfinder auf dem Roten Planeten

Bereits früher, 1976, war das Zeitalter der In-situ-Langzeituntersuchungen auf anderen Planeten angebrochen. In kurzen Abständen hatte die NASA im Sommer 1975 die beiden Missionen Viking 1 und 2 gestartet. Viking 1 erreichte den Marsorbit im Juni 1976, die Schwestersonde sieben Wochen später. Da sich die vorgesehene Landestelle für den Lander von Viking 1 als zu rau erwies, wurde dessen Trennung vom Orbiter bis zum 20. Juli verschoben. Ursprünglich war die Landung für den 4. Juli, den 200. Jahrestag der Unabhängigkeitserklärung der USA, geplant. Das Landegerät von Viking 2 folgte am 3. September. Für beide war es der Beginn eines langen und erfolgreichen Aufenthalts. Viking 1 überdauerte mehr als sechs Jahre und vier Monate oder 3,4 Marsjahre, Viking 2 mehr als drei Jahre und sieben Monate, also 1,9 Marsjahre.

Natürlich waren die Fotos der 6725 Kilometer auseinanderliegenden Landeplätze von größtem Interesse. Die Aufnahmen zeigten eine Landschaft, die in ihrer Kargheit an Wüstenregionen der Erde erinnerte. An den Gesteinsbrocken, deren Zusammensetzung Basalt ähnelte, ließen sich eindeutige Erosionsspuren durch Wind erkennen. Ein spezielles Experiment suchte in Bodenproben nach Spuren für Leben, jedoch gelten die erzielten Ergebnisse heute immer noch als negativ. Die Ergebnisse der Landestationen genossen natürlich die größte Aufmerksamkeit.

Aber auch die beiden Orbiter lieferten bemerkenswerte Resultate (siehe Bild rechts). Nach Ende ihres Betriebs, vier Jahre bei Viking 1 und zwei Jahre bei Viking 2, war die gesamte Oberfläche mit einer Genauigkeit von 150 bis 300 Metern erfasst. In einzelnen Gegenden betrug die Auflösung sogar nur acht Meter.

Nach dem endgültigen Abschalten der Viking-Sonden vergingen 15 Jahre, bis mit Mars Pathfinder wieder ein Raumfahrzeug mit dem NASA-Logo erfolgreich den Mars ansteuerte. Diesmal gelang es, das

Highlight der Mission – das Absetzen eines Landers mit dem kleinen Rover Sojourner – exakt auf den Unabhängigkeitstag zu terminieren. Sojourner – der Name erinnert an Sojourner Truth, eine schwarze Bürgerrechtlerin des 19. Jahrhunderts – besaß eine Grundfläche von 63×48 Zentimetern und wog 10,5 Kilogramm. Er legte in seinem 80-tägigen Betrieb etwa 100 Meter zurück und untersuchte dabei mehrere Gesteinsbrocken aus der Nähe. Auch die Landestation übermittelte kontinuierlich meteorologische Daten. Sie wurde im Gedenken an den kurz zuvor verstorbenen US-Astronomen Carl Sagan (1934–1996) in Sagan Memorial Station umbenannt.

Pathfinder hatte auf dem Weg zum Mars die Sonde Mars Global Surveyor (MGS) überholt, die einen Monat früher gestartet, aber zwei Monate später angekommen war. MGS war ein klassischer Orbiter mit einer hochauflösenden Kamera als Hauptinstrument, mit der sich Objekte von wenigen Metern Ausdehnung identifizieren ließen. In den Aufnahmen von MGS fanden sich deutliche Hinweise für Veränderungen auf der Oberfläche, ausgelöst durch Fließbewegungen, an denen Wasser beteiligt sein musste, oder Einschläge von Meteoriten. Erst im November 2006 beendete MGS seinen Betrieb als damals dienstälteste Marssonde.

Während Pathfinders Aufenthalt erreichten fünf weitere Raumfahrzeuge den Roten Planeten, darunter die Orbiter Mars Odyssey, Mars Express und der Mars Reconnaissance Orbiter. Alle drei sind heute noch aktiv. Mars Odyssey begann seine Untersuchungen im Februar 2002, nachdem die Umlaufbahn mehrere Monate lang durch Aerobraking angepasst wurde. Dies ist die kontrollierte Abbremsung in einer Atmosphäre mit dem Ziel, möglichst treibstoffsparend eine kreisförmige Umlaufbahn zu erreichen. Zahlreiche Sonden nutzen die dünne Marsatmosphäre für dieses Verfahren. Das wichtigste Ziel der Odyssey-Mission war die Charakterisierung der Oberfläche anhand ihrer im Infraroten ausgesandten Strahlung. Vor allem Erkenntnisse über die vorherrschenden Minerale sowie der Nachweis

Auf diesem Mosaik von Viking-1-Aufnahmen ist ein Streifen der Marsoberfläche vom äquatornahen Vulkan Ascræus Mons bis zum dunstverhangenen Südpol dargestellt.





von Wasser standen auf der Wunschliste der beteiligten Wissenschaftler. Darüber hinaus agierte Mars Odyssey als Relaisstation für die in der Zwischenzeit auf dem Mars gelandeten Sonden. Ein Großteil der Daten und Bilder der beiden Rover Spirit und Opportunity und jetzt Curiosity erreichte die Erde über Mars Odyssey.

Per Express zum Mars

Europas erster Beitrag zur interplanetaren Mars erkundung wurde im Sommer 2003 auf den Weg geschickt, als Mars seine geringste Oppositionsdistanz von nur 56 Millionen Kilometern erreichte. Bereits nach etwas mehr als sechs Monaten Flugzeit kam die Sonde am Ziel an. Leider versagte der mitgeführte Lander Beagle 2. Doch die auf dem Orbiter untergebrachten Instrumente, die vom Radar-Altimeter zur Untersuchung des bodennahen Untergrunds über Spektrometer für die Fernerkundung der Marsatmosphäre bis hin zu

einer hochgenauen Stereokamera mit einer Auflösung von zwei Metern reichen, liefern seit Januar 2004 einen kontinuierlichen Strom an Daten. Von Mars Express stammen auch die aus geringster Entfernung aufgenommenen Bilder des Marsmonds Phobos. Infolge seiner elliptischen polaren Umlaufbahn kommt der Orbiter dem Mond alle fünf Monate sehr nahe und kann dabei sogar die vom Mars abgewandte Seite beobachten, was mit den anderen Marsorbitern nicht möglich ist (siehe Bild unten).

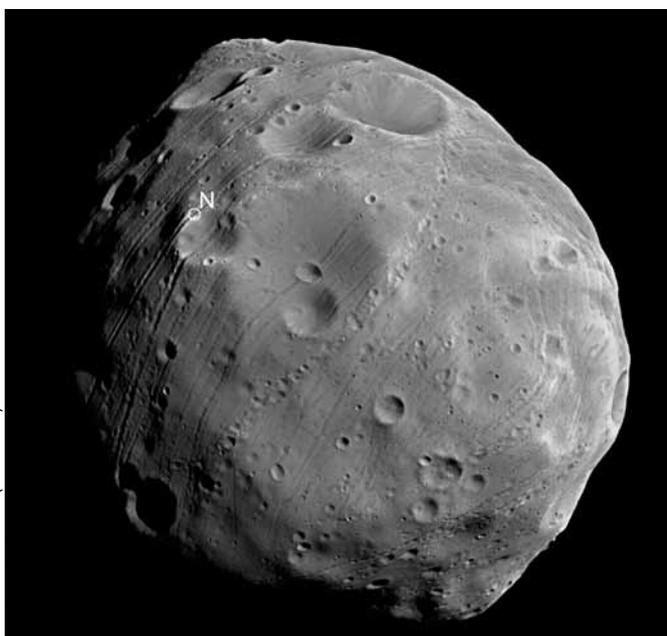
Der Mars Reconnaissance Orbiter, der seit September 2006 sein Beobachtungsprogramm mit einer Nutzlast ähnlich wie Mars Express absolviert, vervollständigt als vorerst letzte Sonde die gegenwärtige Marsflotte. Die Kamera nutzt ein Teleskop mit einer Öffnung von 50 Zentimetern und erkennt aus einer Umlaufhöhe von 300 Kilometern noch Objekte von weniger als einem Meter Durchmesser. Damit las-

sen sich sogar die bisherigen Raumfahrtaktivitäten auf der Marsoberfläche abbilden – angefangen bei den beiden Viking-Sonden bis hin zu den gegenwärtigen Rover- und Landermissionen. Ziel des Orbiters ist es, die Geologie und das Klima des Roten Planeten besser zu verstehen. Wie bei allen modernen Marsmissionen nimmt dabei die Frage, in welcher Form Wasser existiert, einen großen Raum ein. Sie bildet die Grundlage für Untersuchungen, ob sich auf unserem Nachbarn jemals Leben entwickelt hat.

Spirit und Opportunity

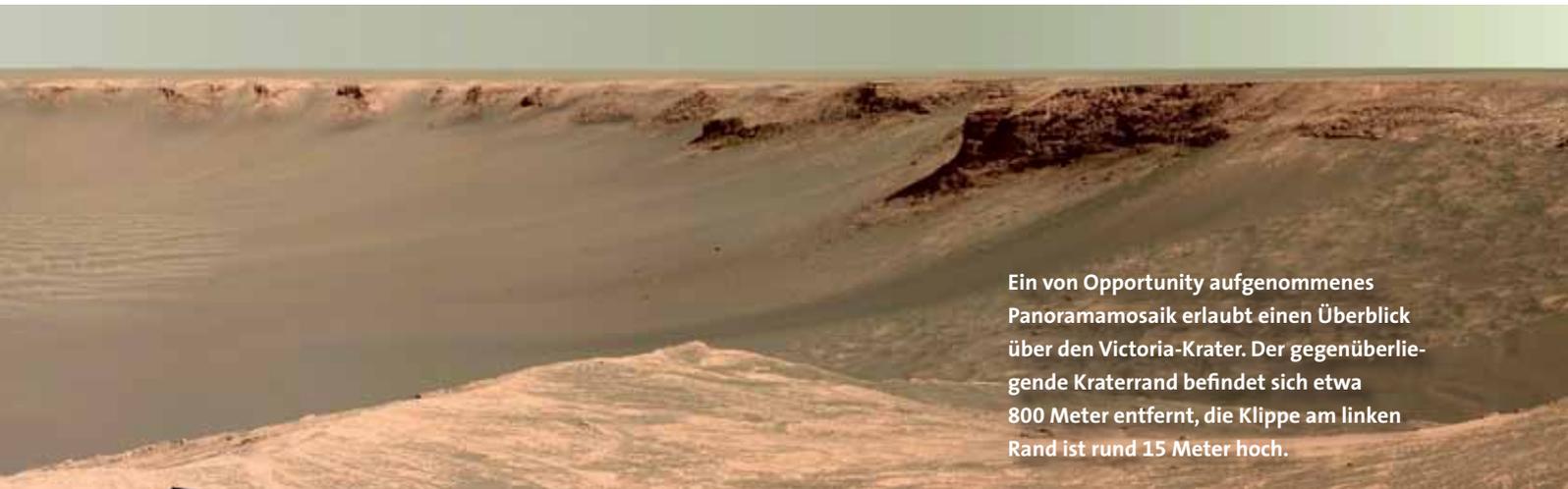
Im letzten Jahrzehnt wurden vier weitere Lander auf der Marsoberfläche abgesetzt. Die ersten beiden führten aufwändige Rover mit, deren Gewicht 180 Kilogramm betrug. Spirit und Opportunity, so die Namen, waren deutlich größer als Sojourner. Opportunity ist sogar nach mehr als acht Jahren auf der Marsoberfläche noch in Betrieb (siehe Bild oben). Beide Rover landeten im Januar 2004 und erkundeten die Umgebung ihrer jeweiligen Landestellen. Im Falle von Spirit war dies der 166 Kilometer weite Einschlagkrater Gusev, dessen Untergrund früher womöglich durch Wasser modifiziert wurde, und bei Opportunity zunächst ein zufällig getroffener, nur 22 Meter großer Impaktkrater. Die Untersuchungen von Spirit endeten im Mai 2009, als der Rover in staubigem Gelände steckenblieb. Ein Jahr später, nach erfolglosen Befreiungsversuchen, versagte die Energieversorgung im vierten Marswinter seines Aufenthalts und er stellte den Betrieb ein. Immerhin hatte er bis dahin 7,7 Kilometer zurückgelegt.

Opportunity befindet sich gegenwärtig nach mehr als 35 Kilometer Fahrt am 22 Kilometer großen Einschlagkrater En-



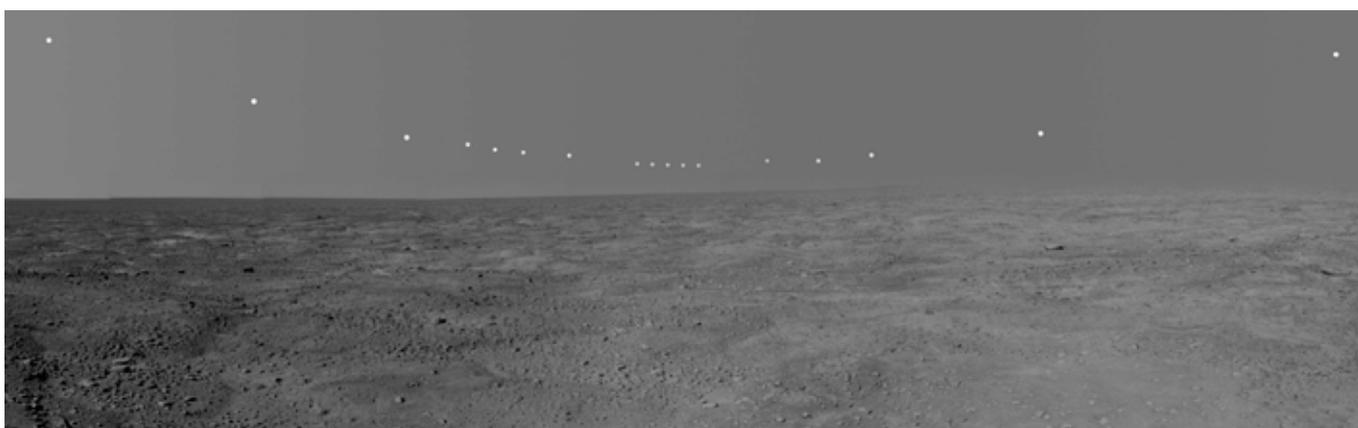
Den Marsmond Phobos lichtete Mars Express aus 351 Kilometer Entfernung im Juli 2008 ab. Das »N« kennzeichnet den Nordpol.

ESA / DLR / FU Berlin (G. Neukum)



Ein von Opportunity aufgenommenes Panoramamosaik erlaubt einen Überblick über den Victoria-Krater. Der gegenüberliegende Kraterrand befindet sich etwa 800 Meter entfernt, die Klippe am linken Rand ist rund 15 Meter hoch.

NASA / JPL-Caltech / Cornell



NASA / JPL-Caltech / University of Texas / Texas A&M University

deavour. Zu Beginn seiner Tätigkeit entdeckte der Rover den ersten Meteoriten auf einem anderen Planeten: Direkt in der Nähe des abgeworfenen Hitzeschildes stieß Opportunity auf ein Objekt, das sich als Eisenmeteorit herausstellte.

Für Phoenix, dem vorletzten Landegerät auf dem Mars, wurde eine Landestelle nahe des Nordpols bei 68 Grad nördlicher Breite ausgewählt (siehe Bild oben). In diesen Breiten vermuteten die Marsforscher dicht unter der Oberfläche Wassereis, das mit einem Greifarm, der in den Boden eindringen konnte, untersucht werden sollte. Im Mai 2008 begann Phoenix mit den Arbeiten und bereits im Sommer wies sie nach dem Erhitzen von Bodenproben Wasserdampf nach. Die Zeit drängte, da der herannahende Herbst die Umweltbedingungen in den nördlichen Regionen verschlechterte. Vor allem die tiefer stehende Sonne, verbunden mit niedrigen Temperaturen, setzte der Energieversorgung mit Solarzellen des Landers zu, so dass er im November 2008 schließlich seinen Dienst quittierte.

Als jüngstes Raumfahrtunternehmen erreichte das Mars Science Laboratory den Roten Planeten und setzte am 6. August

Am nordpolaren Landeplatz von Phoenix zeigt sich die Mitternachtssonne um die Zeit der Sonnenwende ähnlich wie auf der Erde.



NASA / JPL-Caltech

Erste Bilder des Marsrovers Curiosity, der im August 2012 im Krater Gale landete, lassen eine reiche wissenschaftliche Ausbeute erwarten.

Flüge zu Merkur

Nur zwei Raumsonden statteten bislang dem sonnennächsten Planeten einen Besuch ab: die US-Raumsonden Mariner 10 und Messenger. Mariner 10 flog in den Jahren 1974 und 1975 insgesamt drei Mal an Merkur vorbei, Messenger schwenkte nach drei Vorbeiflügen im März 2011 in eine Umlaufbahn um den Planeten ein. Sie ist heute noch aktiv.



Mariner-10



Messenger



Alle Bilder: NASA / JHU-APL

2012 den Rover Curiosity ab. An Größe und Leistungsfähigkeit der Instrumentierung übertrifft er deutlich die bisherigen Rover Spirit und Opportunity. Nach aktueller Planung soll Curiosity innerhalb eines kompletten Marsjahrs mindestens 20 Kilometer in der Umgebung des Landplatzes im Krater Gale untersuchen. Erste übermittelte Daten von Curiosity lassen eine reichhaltige wissenschaftliche Ernte erhoffen (siehe Bild S. 53).

Inzwischen ist der Mars – nach unserer Erde – der am besten erforschte Planet. Trotzdem rätseln wir immer noch über seine geologische Entwicklung. Anders als die Erde oder die Venus wurde seine Oberfläche vor Jahrmilliarden geformt – mit Ausnahme der Regionen mit länger andauernden vulkanischen Aktivitäten. Die Tatsache, dass unser roter Nachbar neben der Lithosphäre über eine Atmosphäre, Kryosphäre und womöglich eine Hydrosphäre verfügt, macht ihn besonders interessant. Vergangene Episoden, in denen große Flächen freien Wassers existierten, sind nicht auszuschließen. Der Mars ist deshalb im Sonnensystem das Objekt, das am ehesten in der Lage gewesen wäre, eine Biosphäre zu entwickeln.

Die sonnennächste Welt Merkur

Zeitlich gesehen ließe sich Merkur relativ schnell erreichen, doch verhindern die großen Treibstoffmengen, die für die erforderlichen Geschwindigkeitsänderungen benötigt werden, einen direkten Anflug. Deshalb verwundert es nicht, dass bisher nur zwei Sonden zum sonnen-

nächsten Planeten geschickt wurden. Die erste war Mariner 10 Ende 1973, die erstmals die Swing-by-Methode einsetzte, um über einen nahen Venusvorbeiflug Merkur erreichen zu können. Die daraus resultierende Bahn endete aber nicht in einem Orbit um Merkur, sondern um die Sonne, und führte Mariner 10 bis März 1975 dreimal nahe an Merkur vorbei. Beim dritten Aufeinandertreffen überquerte die Sonde dessen Oberfläche in nur 327 Kilometer Höhe.

Wegen der Bahngeometrien konnte Mariner 10 immer nur die von der Sonne beschienene Seite kartieren, was etwa 45 Prozent der gesamten Merkuroberfläche entsprach. Fast erwartungsgemäß zeigten die Aufnahmen eine alte, kraterübersäte, mondähnliche Landschaft. Keine stabile Atmosphäre trübt den Blick. Mariner 10 wies aber eine extrem dünne flüchtige Gashülle nach, deren Bestandteile entweder aus dem Sonnenwind oder aus Oberflächenprozessen ständig nachgeliefert werden. Eine der herausragenden Strukturen, die Mariner 10 entdeckte, war das Impaktbecken Caloris, ein Überbleibsel eines gewaltigen Einschlags vor mehr als 3,5 Milliarden Jahren.

Deutlich mehr Swing-bys, insgesamt sechs, benötigte die US-Raumsonde Messenger, die im Sommer 2004 in Richtung des sonnennächsten Planeten geschickt wurde. Auf ihrem Weg kam sie einmal an der Erde, zweimal an Venus und dreimal an Merkur vorbei, bevor ihre Geschwindigkeit soweit verringert war, dass ein abschließendes Zünden des Bordtriebwerks

reichte, um im März 2011 in eine elliptische Umlaufbahn um Merkur einzuschwenken. Bereits bei den nahen Vorbeiflügen untersuchte die Sonde den Planeten und übermittelte Daten über die Struktur und Topografie der Oberfläche, die flüchtige Atmosphäre, die Magnetosphäre und das Schwerfeld. Die hochauflösende Kamera von Messenger tastete Merkur aus der Umlaufbahn innerhalb eines Jahres komplett ab, ihre räumliche Auflösung war dabei mindestens fünfmal höher als bei Mariner 10 (siehe Bild oben).

Mit dem gemeinsamen europäisch/japanischen Unternehmen Bepi Colombo befindet sich eine weitere Merkurmission in Vorbereitung, die 2014 einen Planetenorbiter und einen Magnetosphärenorbiter zu Merkur bringen soll. Wie bei Messenger ist auch hier eine Portion Geduld nötig, da die Phase des Anflugs mehr als sechs Jahre dauern wird. Erstmals wird dabei ein elektrischer Antrieb, verbunden mit einer Serie von Swing-bys, eine Sonde ins innere Sonnensystem befördern.



MANFRED GOTTWALD

arbeitet am Institut für Methodik der Fernerkundung des DLR, wo er für den Betrieb des Atmosphäreninstruments SCIAMACHY zuständig ist. Er promovierte über Gamma-

astronomie am Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik (MPE) und war an wissenschaftlichen Weltraummissionen bei der ESA und am MPE beteiligt.

DIE VORTEILE EINES ABONNEMENTS

So vielfältig wie unser Magazin!

Schon jetzt an
Weihnachten denken!

Sterne und Weltraum
gibt es auch als
Geschenkabö



- 1** Zwölf Ausgaben zum Preis von nur € 85,20 inkl. Versand Inland (statt € 94,80 im Einzelkauf); für Schüler, Studenten, Azubis etc. auf Nachweis sogar nur € 64,-
- 2** 2 in 1: Sie erhalten nicht nur die Printausgabe, sondern können auch schon drei Tage vor dem Erstverkaufstag auf die Digitalausgabe zugreifen!
- 3** Bonusartikel, zahlreiche Vergünstigungen sowie ein kostenloser Zugriff auf das E-Paper-Archiv von **Sterne und Weltraum** unter: www.sterne-und-weltraum.de/aboplus
- 4** Zusätzlich für Ihre Abobestellung erhalten Sie ein Präsent Ihrer Wahl!

Weitere Präsente finden Sie im Internet ...



Das fadengeheftete **Din-A4-Spektrum-Notizbuch** bietet Ihnen auf 160 Seiten Platz für Ihre Notizen. Mit Verschluss- und Lesezeichenband sowie einer Stiftschleufe.



Das schicke **Sterne und Weltraum-Jubiläums-Poloshirt!** Bestehend aus 100% Baumwolle mit hochwertiger Logobestickung im linken Brustbereich. Erhältlich in den Größen M und XL.



Für Einsteiger und fortgeschrittene Sternfreunde und Hobbyastronomen ist **Ahnerts Astronomisches Jahrbuch 2013** das unentbehrliche Standardwerk. 210 Seiten mit zahlreichen, meist farbigen Fotografien und Grafiken.

Diese und zusätzliche Aboangebote wie **Geschenkabö**, **Miniabo** oder **Leser-werben-Leser-Abos** finden Sie unter:

www.sterne-und-weltraum.de/abo

Spektrum
DER WISSENSCHAFT
WISSENSCHAFT AUS ERSTER HAND

 www.sterne-und-weltraum.de
 E-Mail: service@spektrum.com
 Tel.: 06221 9126-743

 Fax: 06221 9126-751
 Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH
Slevogtstraße 3-5 | 69126 Heidelberg