

**Mit dem über die Marssonde »Pathfinder«** (Vordergrund) gesteuerten Roboterfahrzeug »Sojourner« (Bild aus mehreren Fotos zusammengesetzt) erkundeten Forscher von der Erde aus den Wüstenplaneten. Der so genannte Rover analysierte unter anderem Gestein, erkundete bodenmechanische Eigenschaften und übermittelte zahlreiche Fotos

# ROTE WÜSTE

Mithilfe raffiniert konstruierter Raumsonden, Landegeräte und Roboterfahrzeuge analysieren Wissenschaftler die Oberfläche unseres Nachbarplaneten. Obwohl dessen Masse nur ein Zehntel der irdischen ausmacht, die dünne Atmosphäre reich an Kohlendioxid

ist und staubige Wüsten und Gebirge seine Oberfläche bedecken, schließen Forscher die Existenz von Leben dort nicht aus. Unter anderem, weil in der Tiefe offenbar große Mengen lebenswichtigen Wassers lagern – in Form von Eis

Text: Erwin Lausch



# BERGE RAGEN BIS ZU 21 KILOMETER IN DIE ATMOSPHÄRE

**Wie eine Narbe** ziehen sich die über 4000 km langen, 600 km breiten und bis zu acht km tiefen Schluchten der Valles Marineris über die Marsoberfläche. Täler und Berge sind dort größer als auf der Erde – die Berge mehr als zweimal so hoch wie der Mount Everest

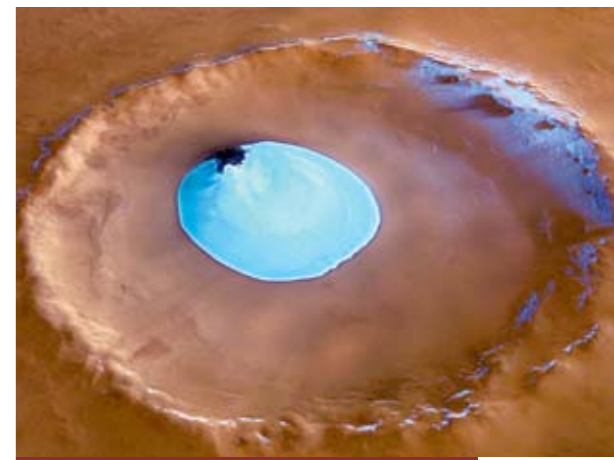
**D**ie Spannung wächst im Kontrollzentrum des Jet Propulsion Laboratory in Pasadena, Kalifornien. Die Raumkapsel „Spirit“ mit dem gleichnamigen Marsfahrzeug an Bord ist kurz vor dem Ziel, und nun beginnt eine besonders kritische Phase der 487 Millionen Kilometer langen Reise: die Landung auf dem Roten Planeten. Das Kontrollzentrum kann das Landemanöver nicht mehr steuern – die Wissenschaftler und Ingenieure hoffen, dass alles so abläuft, wie zuvor programmiert.

Mit knapp 20 000 Kilometern pro Stunde dringt der fahrbare Roboter, gut verpackt und durch einen Hitzeschild geschützt, in die dünne Marsatmosphäre ein. Durch den Widerstand der Marsluft verringert sich die Geschwindigkeit innerhalb von vier Minuten auf 2000 km/h. Der Fallschirm öffnet sich zwei Minuten vor der Landung. Eine zum Boden gerichtete Kamera macht drei Aufnahmen, die ein Bordcomputer blitzschnell analysiert, um mögliche Seitenwinde zu erkennen. Rund um die kostbare Fracht werden in den letzten acht Sekunden Airbags aufgeblasen, Bremsraketen gezündet. Dann wird der Fallschirm abgetrennt, Spirit fällt aus einer Höhe von 8,5 Metern auf den Marsboden.

Es ist der 4. Januar 2004, und aus den Lautsprechern im Kontrollzentrum plärrt eine Durchsage: „Wir haben Anzeichen für Hüpfen auf der Oberfläche des Mars.“ Gäbe es einen Beobachter, ihm böte sich ein merkwürdiges Bild: Abgefedert durch die Airbags, hüpfte das Paket wie ein Gummiball vom Boden in die Höhe, über acht Meter beim ersten Mal, wieder und wieder, bis es, wie die Auswertung der Daten später ergeben wird, nach 28 Sprüngen im Staub des fremden Planeten endlich zur Ruhe kommt.

17 Minuten nach der ersten Bodenberührung setzt Spirit ein Signal zur Erde ab. Alles hat funktioniert wie geplant. Jetzt kann ausgepackt werden. Aus der Aluminium- und Kunststoffhülle der Kapsel pellt sich langsam der „Mars Exploration Rover“, eine einzigartige Konstruktion der US-Raumfahrtbehörde NASA: ein auf sechs Rädern rollendes Labor mit Kameras, Greifarm und Spektrometern zur Analyse von Marsboden und -gestein. Dieser Roboter ist „eine der kompliziertesten Maschinen, die je gebaut wurden“, so der am Projekt beteiligte Wissenschaftler Philip Christensen von der Arizona State University.

Drei Wochen später plumpst Spirits Zwillingssonde „Opportunity“ samt gleichnamigem Rover auf die entgegengesetzte Seite des Planeten. Und zehn Tage vor Spirits Landung ist bereits die Sonde „Mars Express“ der europäischen Weltraumbehörde ESA in einer Umlauf-



**Diese Kuppe aus Wassereis**, die dunkle Sanddünen bedeckt, fotografierte die Sonde »Mars Express« im Februar 2005 in einem Krater in der Nähe des Nordpols

bahn um den Planeten angekommen. Mittels einer unter Leitung des Planetenforschers Gerhard Neukum am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt entwickelten Hochleistungs-Stereokamera lichtete sie die gesamte Mars-Oberfläche dreidimensional ab – mit bis dahin unvorstellbarer Präzision.


In konzentriertem Ansturm versuchen die Forscher seither, dem Mars seine Geheimnisse zu entreißen, wollen endlich verstehen, wie sich der erdnächste unter den Planeten entwickelt hat. Und sie suchen nach Anzeichen für Leben.

Die wichtigste Frage dabei: Gibt es auf dem Erdnachbarn noch flüssiges Wasser, die Schlüsselsubstanz für das Leben? „Wenn es auf dem Mars in der Vergangenheit flüssiges Wasser gab oder heute noch gibt“, so hat die NASA verlautbart, „dann stellt sich zwingend die Frage, ob sich an seiner Oberfläche irgendwelche Lebensformen entwickelt haben können.“

**S**eit Jahrtausenden schon schlägt dieser Planet die Menschen in seinen Bann – nicht nur aufgrund der rötlichen Färbung, sondern auch wegen seiner stark schwankenden Helligkeit: Beim Maximum seiner Leuchtkraft, etwa alle zwei Jahre, strahlt er am Firmament hundertmal heller als zur Zeit des Minimums.

Bekommen verfolgten deshalb bereits die Menschen in den alten Kulturen das Auf und Ab des roten Wandelsterns, das ihnen nichts Gutes zu verheißen schien. Die Babylonier nannten ihn Nergal, nach dem Gott des Todes und der Unterwelt, die Griechen nach ihrem Kriegsgott Ares. Für die Chinesen war er Huoxing, Stern des Feuers, für die Azteken Huitzilopochtli, der Zerstörer von Menschen und Städten. Die Römer gaben ihm den Namen, der geblieben ist: den ihres Kriegsgottes.

Der Mars ist ein relativ kleiner Planet mit nur gut dem halben Erddurchmesser und rund einem Zehntel der Erdmasse. Seine Umlaufbahn liegt im Mittel rund anderthalbmal so weit von der Sonne entfernt wie die der Erde. Da er für eine Runde auch etwa doppelt so lange braucht wie sein blauer Nachbar, ändert sich die Entfernung zwischen den beiden Himmelskörpern ständig: Manchmal liegen zwischen ihnen knapp 56 Millionen, manchmal fast 400 Millionen Kilometer. Kommt der Mars der Erde besonders



**Die untergehende Sonne** lässt die dünne Atmosphäre leuchten. Sie enthält 95,3 Prozent Kohlendioxid, dazu Stickstoff, Argon, Kohlenmonoxid, Wasserdampf – und reichlich Staub

**Navigations- und Panoramakameras** am Mast des »Spirit«-Mars-Rover ermöglichen einen Rundumblick; Spektrometer am Roboterarm ermitteln die Gesteinszusammensetzung



## HOCHLEISTUNGSTECHNIK ERKUNDET DEN PLANETEN

nahe, wird er für uns zum hellsten Planeten nach der Venus. Seine rötliche Tönung stammt von roten bis gelbbraunen Eisenverbindungen, die schon in geringen Mengen Gesteine bunt färben.

Erste Entdeckungen auf dem Roten Planeten machten Astronomen nach der Erfindung des Fernrohrs im 17. Jahrhundert (Seite 108). Der Niederländer Christiaan Huygens erspähte 1659 einen großen dunklen Fleck, heute als Syrtis Major bekannt, und bemerkte, dass der Mars um sich selbst rotiert. Sein italienischer Kollege Giovanni Cassini entdeckte 1666 als Erster helle Polkappen. Cassini bestimmte auch die Dauer einer Marsumdrehung mit 24 Stunden und 40 Minuten auf drei Minuten genau.

Durch leistungsfähigere Teleskope betrachtet, offenbarte der Planet allmählich mehr Details. Immer deutlicher zeichneten sich dunkle Regionen auf der überwiegend hellen, orangefarbenen bis rötlich gefärbten Oberfläche ab. Viele Astronomen hielten sie für Meere. Auch registrierten sie, dass die Größe der weißen Kappen an den Polen im Rhythmus

der Jahreszeiten schwankt. Sie beobachteten Wolken und entdeckten zwei Monde, Phobos und Deimos – griechisch für „Furcht“ und „Schrecken“.

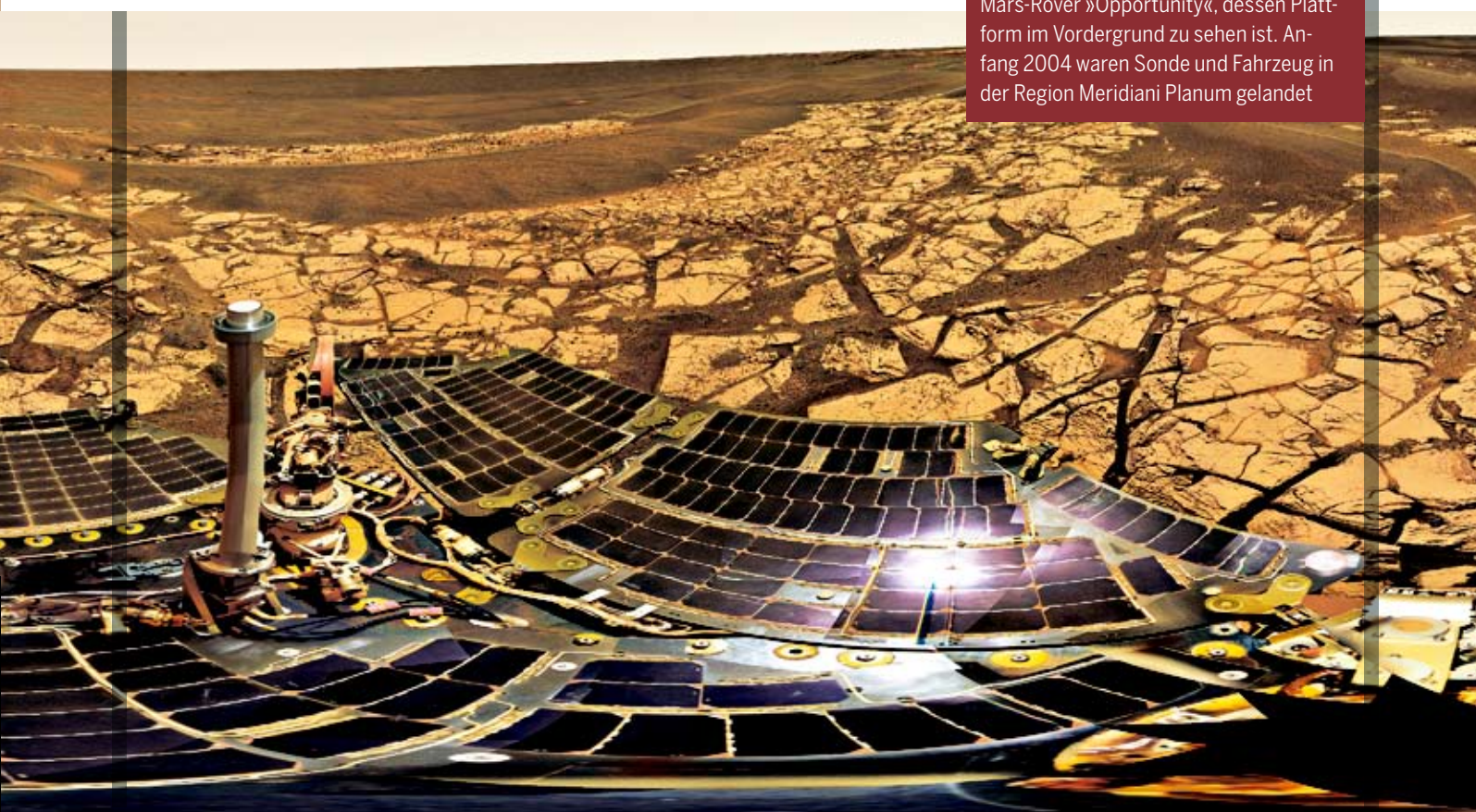
1877 sah der italienische Astronom Giovanni Schiaparelli in den hellen Gebieten dünne Linien, die er *canali* nannte und die als „Marskanäle“ Furore machten. Der amerikanische Astronom Percival Lowell gründete 1894 in Arizona ein Observatorium nur zu dem Zweck, nach intelligentem Leben auf dem Mars zu suchen. Lowell war davon überzeugt, dass Schmelzwasser von den Polen durch die von Marsbewohnern geschaffenen Kanäle zu den dunklen Regionen fließt, die er sich von Vegetation bedeckt vorstellte.

Noch Anfang der 1960er Jahre stand die – längst umstrittene – Theorie über die Kanäle in astronomischen Lehrbüchern. Doch alle Diskussionen über eine Zivilisation auf dem Mars endeten abrupt, als 1965 die US-Weltraumsonde „Mariner 4“ bei der ersten erfolgreichen Marsmission 22 Aufnahmen aus 17 000 bis knapp 10 000 Kilometer Entfernung machte: Die Bilder zeigten ein ödes, von

zahlreichen **Meteoriten**kratern zernarbartes Terrain, mehr mond- als erdähnlich. Von Marskanälen keine Spur.

Doch der triste Eindruck trog, Mariner 4 hatte nur einen kleinen Teil der Marsoberfläche erfasst. Spätere Missionen, bei denen Sonden den Mars öfter umrundeten und – erstmals 1976 – auf ihm landeten, zeichneten ein differenzierteres Bild: Die Oberfläche des Roten Planeten erwies sich als vielgestaltig, mit riesigen Vulkanen und gigantischen Schluchten, mit windgepeitschten Lavaebenen, ausgetrockneten Flussbetten und uralten, ehemaligen Seen.

Etwa 21 Kilometer hoch erhebt sich der höchste Marsvulkan, Olympus Mons. Weit über irdische Maßstäbe hinaus reicht auch ein Schluchtensystem, das oft mit dem Grand Canyon verglichen wird. Nur: Diese „Valles Marineris“ auf dem Mars ziehen sich über 4000 Kilometer (der Grand Canyon ist 466 Kilometer lang), sind bis zu 600 Kilometer breit



**Einen Blick auf den Rand** des Erebus-Kraters zeigt dieses Bildmosaik des Mars-Rover »Opportunity«, dessen Plattform im Vordergrund zu sehen ist. Anfang 2004 waren Sonde und Fahrzeug in der Region Meridiani Planum gelandet

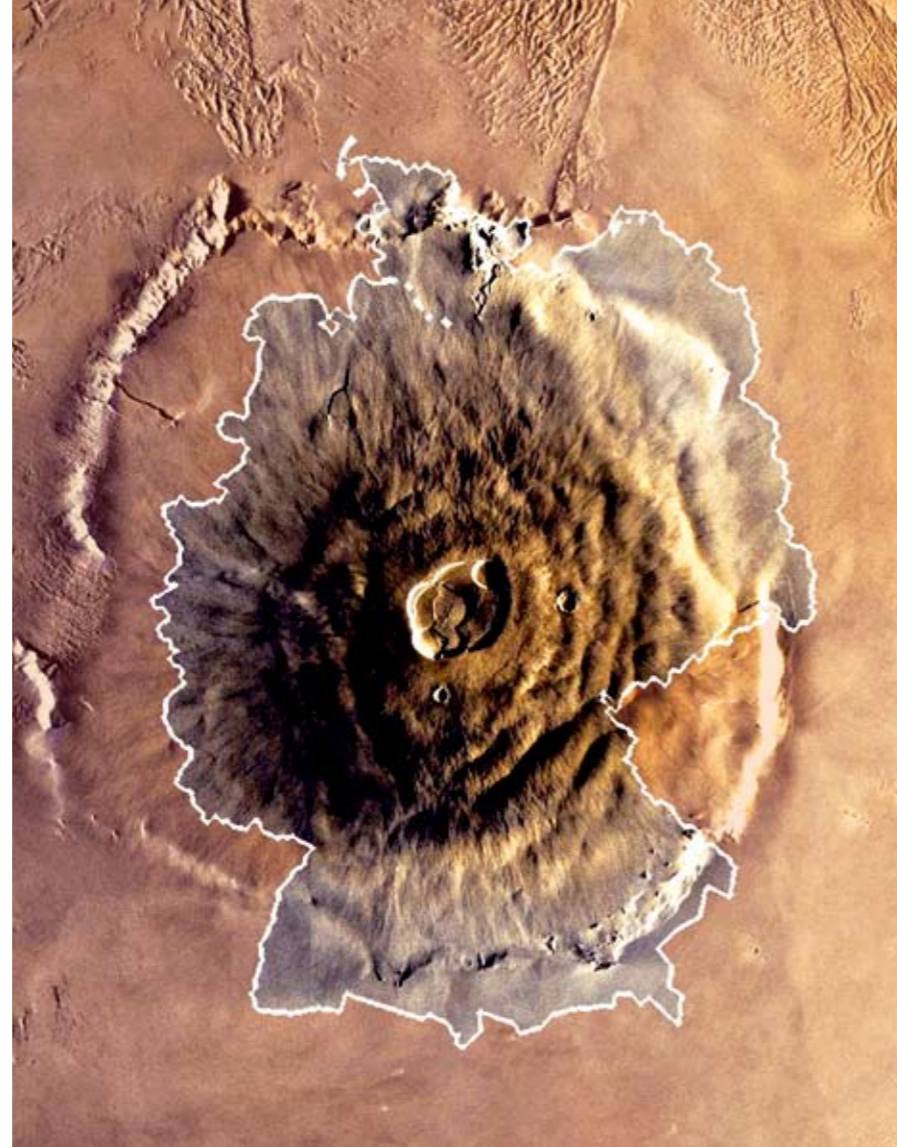
(Grand Canyon: bis zu 30 Kilometer) und bis zu acht Kilometer tief (Grand Canyon: bis zu 1,8 Kilometer).

Je genauer die Forscher den Mars mit immer leistungsfähigeren Kameras betrachteten – die deutsche Hochleistungskamera des „Mars Express“ kann wenige Meter große Strukturen dreidimensional darstellen –, desto mehr Hinweise auf ehemals vorhandenes Wasser fanden sie. Davon zeugen Erosionsprozesse in den Seitentälern der Valles Marineris und anderer Canyons sowie von Erosion völlig zerfressene Landstriche, alte Flussläufe und geschichtete Sedimentgesteine, wie sie etwa in Seen abgelagert werden.

**A**ber wo auf dem Mars ist flüssiges Wasser? Die Polkappen enthalten zwar überwiegend kilometerdickes Wassereis, doch bei den dort herrschenden Temperaturen von minus 140 bis minus 15 Grad Celsius taut dieses Eis nicht. Die schon früh beobachteten Veränderungen der Polkappen je nach Jahreszeit sind auf dünne Schichten von gefrorenem Kohlendioxid (Trockeneis) zurückzuführen, das dort bei minus 128 Grad Celsius in den gasförmigen Zustand übergeht.

Die Marsatmosphäre, die ganz überwiegend aus Kohlendioxid besteht, enthält nur geringe Spuren von Wasserdampf. Obwohl sie mit nur 0,6 Prozent des Drucks, den die Erdatmosphäre in Meereshöhe ausübt, sehr dünn ist, toben auf dem Mars heftige Stürme, die Unmengen Staub um den Planeten jagen.

Konnte in der Gegenwart bislang kein flüssiges Wasser nachgewiesen werden, so muss es doch in der Vergangenheit auf dem Mars überreichlich geflossen sein. Aber wann? Um das Alter von Marslandschaften zu bestimmen, zählen Forscher die beim Einschlag von **Asteroiden** und **Kometen** entstandenen Krater, die auf



**Der gewaltigste Feuerberg** im Sonnensystem ist der Mars-Vulkan Olympus Mons (zum Vergleich: die Umrisse von Deutschland). Er ist rund 21 km hoch, bei einem Durchmesser von 600 km. Über Jahrmilliarden wurde die Lava aufgetürmt

dem Planeten massenhaft vorkommen. Je mehr Krater eine bestimmte Fläche aufweist, desto länger ist sie schon dem kosmischen Bombardement ausgesetzt. Solche Auszählungen haben ergeben, dass die Oberfläche des Mars einschließlich der durch Wasser so eindrucksvoll geprägten Gebiete größtenteils über drei Milliarden Jahre alt ist.

Doch es gibt Ausnahmen. Einige von relativ wenig Einschlägen getroffene

Böden von Vulkankratern lassen auf ein Alter von etwa 100 bis 200 Millionen Jahren schließen. Manche Lavaströme erscheinen noch jünger, teils 25 Millionen, teils nur zwei Millionen Jahre alt.

Jünger sind auch Spuren früherer Gletscher: Manche sind 130 bis 280, andere 20 bis 60 und einzelne sogar nur vier Millionen Jahre alt. Die Gletscherbildung abseits der Pole erklären Forscher damit, dass sich jeweils die Neigung der Marsachse und damit auch das Klima veränderte, die Polkappen dadurch schmolzen und das verdampfte Wasser sich per Schneefall in nun klimatisch weniger begünstigte Regionen verlagerte.

a

**BIS ZU VIER  
MILLIARDEN JAHRE  
ALTE GESTEINE**

## Mars-Expedition

### DER 30-MONATE-TRIP

Wie NASA und ESA eine bemannte Reise zum Roten Planeten vorbereiten

Das größte Problem ist der Staub, befand die NASA kürzlich in einer Studie. Er kann überall eindringen: in Filter, Raumanzüge, Energiesysteme. Das zweitgrößte sind plötzliche Starkwinde, die den Zielanflug oder später den Startvorgang stören könnten. Das drittgrößte ist die kosmische Strahlung, die während der zweieinhalbjährigen Reise hin und zurück auf die Expeditionsteilnehmer niedergeht. Kurzum: Ein mehrmonatiger Aufenthalt von Astronauten auf dem Mars, wie ihn NASA und ESA planen, ist mit nichts vergleichbar, was Menschen bisher im All unternommen haben.

Vor allem die Gesundheitsrisiken für die Astronauten sind nur schwer einzuschätzen. Sicher ist: Lange Aufenthalte im All haben Muskel- und massiven Knochenschwund zur Folge. Die ESA hat deshalb in Toulouse ein Testlabor eingerichtet, wo Freiwillige jeweils drei Monate ständig im Bett verbringen – bei sechs Grad Tieflage des Kopfes. Nicht einmal Sitzen ist erlaubt. So lassen sich künstlich Veränderungen an Kreislauf, Knochen und Muskeln hervorrufen, wie sie auch bei langen Aufenthalten in der Schwerelosigkeit eintreten.

Bisher wurden insgesamt 24 Frauen und 28 Männer den Liege-Tests unterzogen, die Auswertung allerdings wird Jahre dauern. Die NASA will auch die Internationale Raumstation ISS für medizinische Programme nutzen, um ihre Astronauten für den Trip durchs Sonnensystem zu wappnen.

Irgendwann um 2030, so die bisherigen Szenarien, könnte es losgehen: Die Amerikaner wollen vom Mond aus starten, die Europäer ihr Raumschiff im **Erdorbit** zusammenbauen: ein mehr als 100 Meter langes Vehikel mit Platz für sechs Astronauten. *Jürgen Bischoff*



Die reine Flugzeit zum Mars und zurück würde 960 Tage betragen

Nach Untersuchungen durch die US-Sonde „Mars Odyssey“, bei denen der Marsboden aus dem All gewissermaßen durchleuchtet wurde, sind die Wassermassen aus der Urzeit auf dem Planeten noch immer vorhanden: als Eis, das dicht unter der Oberfläche liegt. Teilweise scheint der Boden zu mehr als 50 Prozent aus Eis zu bestehen.

Auch die NASA-Rover Spirit und Opportunity verfolgen die Spur des Wassers: Sie suchen nach Mineralen, die ihre Existenz dem flüssigen Nass verdanken. Opportunity landete bestimmungsgemäß in einer der flachsten Landschaften des Planeten, der Meridiani-Ebene, die wie ein trockengefallener See aussieht.

Innerhalb weniger Tage bestätigte der Rover, dass das Gebiet tatsächlich einst unter Wasser lag: In unmittelbarer Nähe des Landeplatzes stieß er auf geschichtetes Sedimentgestein mit viel Sulfat, das aus schwefelreichem Wasser entstanden sein muss. In den Gesteinsschichten und am Boden fand Opportunity auch zahlreiche Kügelchen aus Hämatit, einem Eisenoxid, das sich üblicherweise durch den Kontakt von Eisen mit Wasser bildet.

#### memo | mars

**DIE ROTE FARBE** des Planeten stammt von Eisenverbindungen im Gestein.

» **SEINE OBERFLÄCHE** ist geprägt von gewaltigen Schluchten und Vulkanen, von ausgetrockneten Seen und Flussbetten.

» **FORSCHER SUCHEN** auf dem Mars verstärkt nach flüssigem Wasser, einer Voraussetzung für die Entwicklung von Leben.

» **ETWA 2030** sollen die ersten Menschen zum Wüstenplaneten aufbrechen.

Spirit ging in einem Krater namens „Gusev“ nieder, der als Landeplatz ausgewählt worden war, weil er nach Aufnahmen aus dem All ebenfalls ein ehemaliger See zu sein schien. Der vermeintliche Seeboden erwies sich indes als drei Milliarden Jahre altes vulkanisches Gestein.

Als der Rover eine nahe gelegene Anhöhe erklomm, stieß auch er dort auf Schwefelsalze. Doch deren Ursprung

bleibt ungewiss. Das uralte Vulkangestein von Gusev enthält nämlich die Minerale Olivin und Pyroxen, die sich schon bei geringen Spuren von Wasser zersetzt haben müssten.

Dass die Marskanäle sich als Trugbild erwiesen und sich die Vorstellungen von einer niederen Vegetation nicht bestätigt haben, hält Forscher nicht davon ab, weiterhin nach Leben zu suchen. Noch hoffen sie darauf, wenigstens primitive Mikroorganismen zu entdecken. Schließlich konnten auf der Erde Bakterien selbst an den unwirtlichsten Orten nachgewiesen werden: im Meereis der Polarregionen etwa, in über 250 Millionen Jahre altem Steinsalz sowie in Gesteinen kilometertief unter der Erdoberfläche.

Mächtig in Schwung kam die Diskussion um Leben auf dem Mars, als 1996 eine Forschergruppe berichtete, man habe in einem in der Antarktis gefundenen Marsmeteoriten Spuren gefunden, die von Organismen stammen könnten.

Die Deutung der vermeintlichen Lebensspuren ist bis heute umstritten. Doch die Meldung gab der Marsforschung neuen Auftrieb: Herauszufinden, ob es auf dem Mars jemals Leben gegeben hat, ist für die NASA das „Ziel Nr. 1“ ihres „Mars Exploration Program“.

Die Wissenschaftler der europäischen ESA sehen das ganz ähnlich. Sie werden im Verlauf ihres für 2011 geplanten Projekts „ExoMars“, bei dem ein Rover 2,5 Meter tief ins Gestein bohren soll, auch nach ausgestorbenem oder noch existierendem Leben auf dem Mars fahnden.

All diese Projekte dienen der Vorbereitung auf das wirklich große Marsabenteuer: Für 2030 planen ESA und NASA, Menschen zum Roten Planeten zu schicken (Kasten). Die Kosten dafür aber sind bislang nicht einmal annähernd zu ermitteln – die NASA schätzte sie bereits 1989 auf bis zu 500 Milliarden Dollar. □

**Dr. Erwin Lausch**, 76, war viele Jahre GEO-Redakteur und schreibt regelmäßig für GEOkompakt.

a