

Broschüre Mars Express
Brochure Mars Express

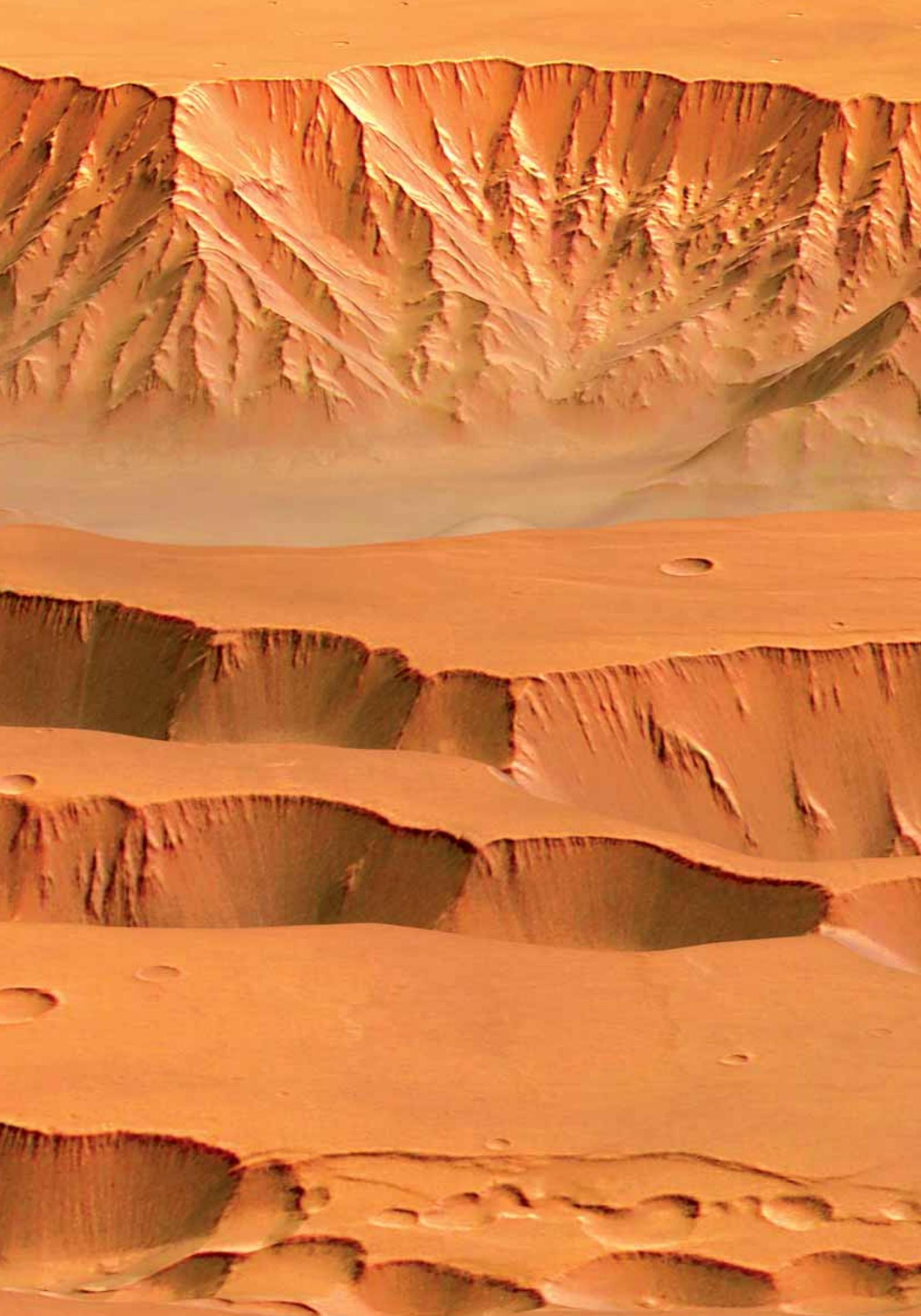
Mars Express

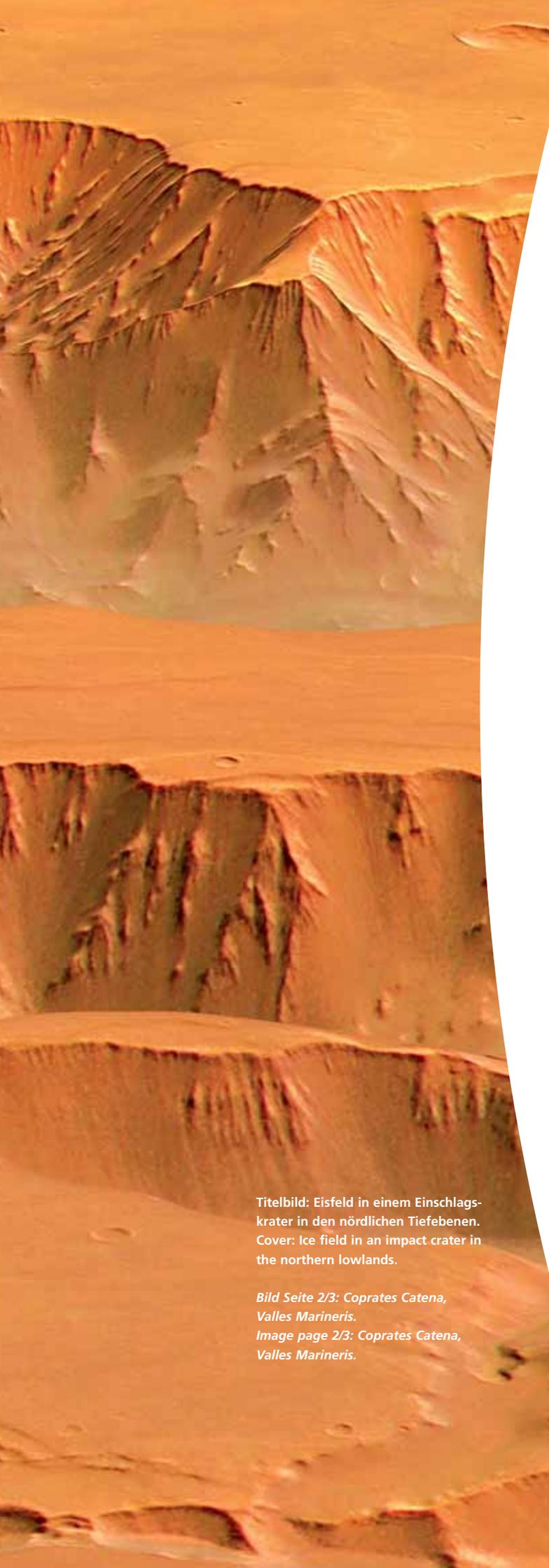
High Resolution Stereo Camera

Mars Express

High Resolution Stereo Camera







Inhalt

Contents

Einleitung <i>Introduction</i>	4
Mars Express – Europas erste Mission zu einem anderen Planeten <i>Mars Express – Europe’s First Mission to Another Planet</i>	6
Auf dem schnellsten Weg zum Mars <i>On a Fast Track to Mars</i>	8
Der Mars in 3D – Die Stereokamera HRSC <i>Mars in 3D – the HRSC Stereo Camera</i>	10
Mars global – Neue Daten für die Forschung <i>Globally New Mars Data for Research</i>	16
Das neue Bild vom Mars <i>New Views of Mars</i>	18
Feuer, Wasser, Eis, Methan und Sulfate <i>Fire, Water, Ice, Methane and Sulfates</i>	20
Klimawandel auf dem Mars <i>Climatic Changes on Mars</i>	22
Daten für die Zukunft <i>Data for the Future</i>	24

Titelbild: Eisfeld in einem Einschlagskrater in den nördlichen Tiefebene.
Cover: Ice field in an impact crater in the northern lowlands.

*Bild Seite 2/3: Coprates Catena,
Valles Marineris.
Image page 2/3: Coprates Catena,
Valles Marineris.*

Einleitung

Introduction

Seit jeher beflügelt der Mars die Phantasie der Menschen. Die Ähnlichkeit mit der Erde macht unseren Nachbarplaneten zu einem wichtigen Objekt der Erforschung unseres Sonnensystems. Schließlich ist es nicht ausgeschlossen, dass auf unserem Nachbarplaneten in früherer Zeit einfachste Lebensformen existierten – oder sogar noch heute existieren.

Mit unbemannten Raumsonden versuchen Wissenschaftler seit 40 Jahren, die Geheimnisse des Mars zu entschlüsseln. Wasser – unabdingbar für die Entstehung von Leben – und Eis haben auf der Oberfläche des Planeten ihre Spuren hinterlassen: Die Suche nach diesen Spuren ist eines der ehrgeizigsten Ziele der ersten europäischen Mission zum Mars: „Mars Express“.

Die Mission Mars Express der europäischen Weltraumorganisation ESA ist ein großer, erfolgreicher Schritt in der Erforschung des Sonnensystems. Seit Beginn des Jahres 2004 liefert der Orbiter zuverlässig Meßdaten und Bilder von unserem äußeren Nachbarplaneten. Die Datengrundlage und der Wissensstand über diesen Planeten wurden fundamental erweitert.

Eines der wichtigsten Instrumente an Bord von Mars Express ist die in Deutschland gebaute hoch auflösende Stereokamera HRSC (High Resolution Stereo Camera). Die vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) entwickelte und dort auch betriebene Kamera kartiert die Oberfläche des Mars in hoher Auflösung, in Farbe, und vor allem in der dritten Dimension. Die mit der HRSC aufgenommenen topographischen Bildkarten stellen eine unersetzliche Ressource für die gegenwärtige und zukünftige Marsforschung dar. Die bereits im Missionsverlauf gewonnenen Erkenntnisse haben unser Bild von der geologischen Entwicklung des „Roten Planeten“ massiv verändert. Zukünftige Missionen werden auf den Ergebnissen von Mars Express aufbauen können.

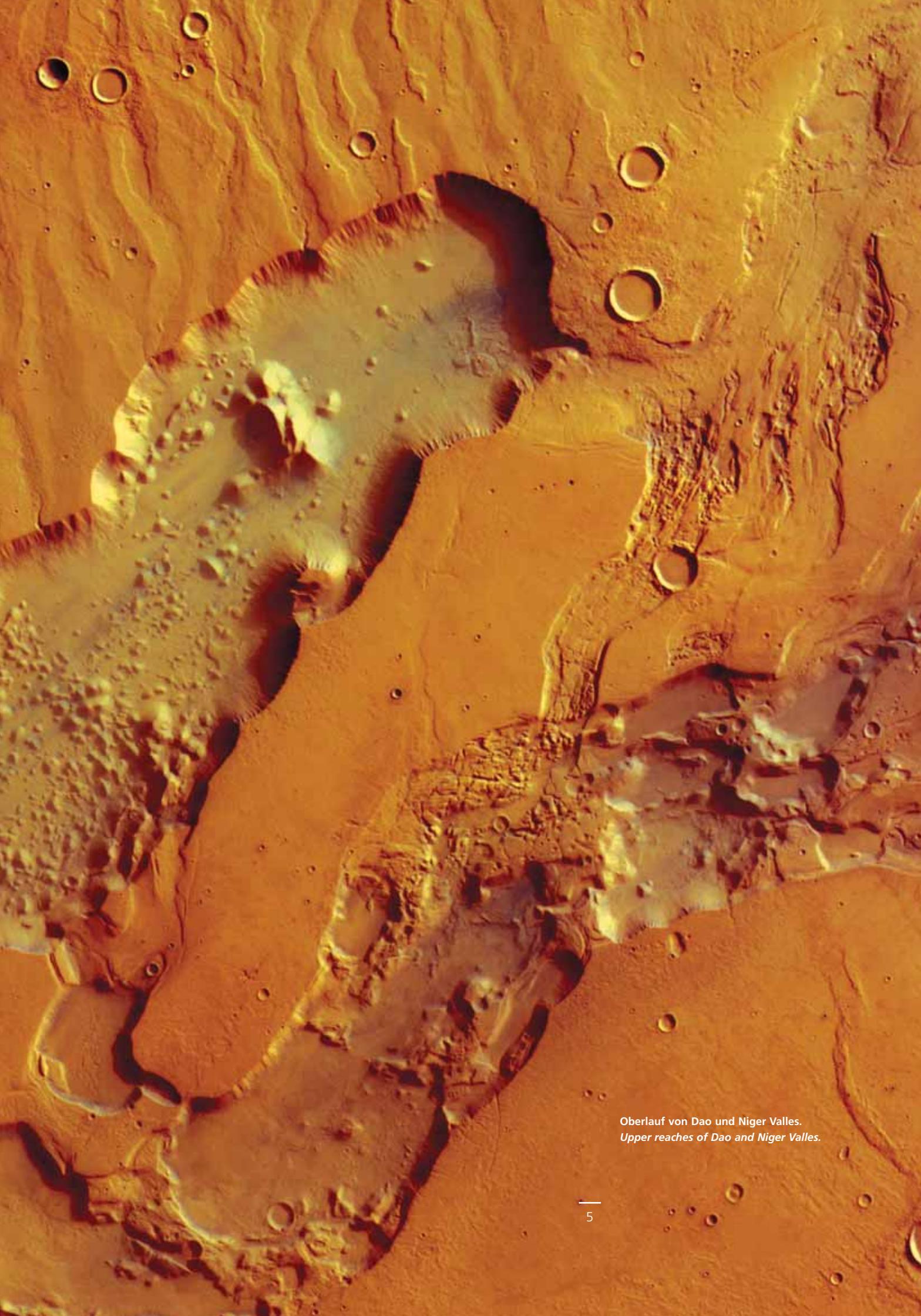
Mars is a source of imagination for humankind ever since. The similarity with Earth is making our neighboring planet a natural, and important, object of solar-system research. It cannot be ruled out entirely that primitive life forms existed for at least some time on Mars – and might even be extant today.

Using unmanned spaceships, scientists are trying since 40 years to unveil some of the secrets hidden on Mars. Running water – absolutely necessary for the evolution of life – and moving ice have left their markers on the surface of Mars: The search and investigation of traces of water and ice is one of the most ambitious goals of the first European mission to Mars: “Mars Express”.

The Mars Express mission of the European Space Agency ESA is a major, successful step in the exploration of the solar system. Since the beginning of 2004 the orbiting spacecraft is delivering measurements and image data from our outer neighbor. The data base and knowledge about this planet has been broadened fundamentally with this mission.

One of the most important instruments on board Mars Express is a camera built in Germany, with quite specific abilities never applied in planetary exploration before: The High Resolution Stereo Camera (HRSC). Engineered, built and managed by the German Aerospace Center (DLR), this imaging system is mapping the entire planet Mars in high resolution, in color and even in the third dimension. The topographical image maps are becoming a prerequisite resource for Martian research of the present and the future. The conclusions drawn so far in the course of the mission have changed our image of the geological evolution of the “Red Planet” fundamentally. Future mission will build their exploration strategy on the results of Mars Express.





Oberlauf von Dao und Niger Valles.
Upper reaches of Dao and Niger Valles.

Mars Express – Europas erste Mission zu einem anderen Planeten

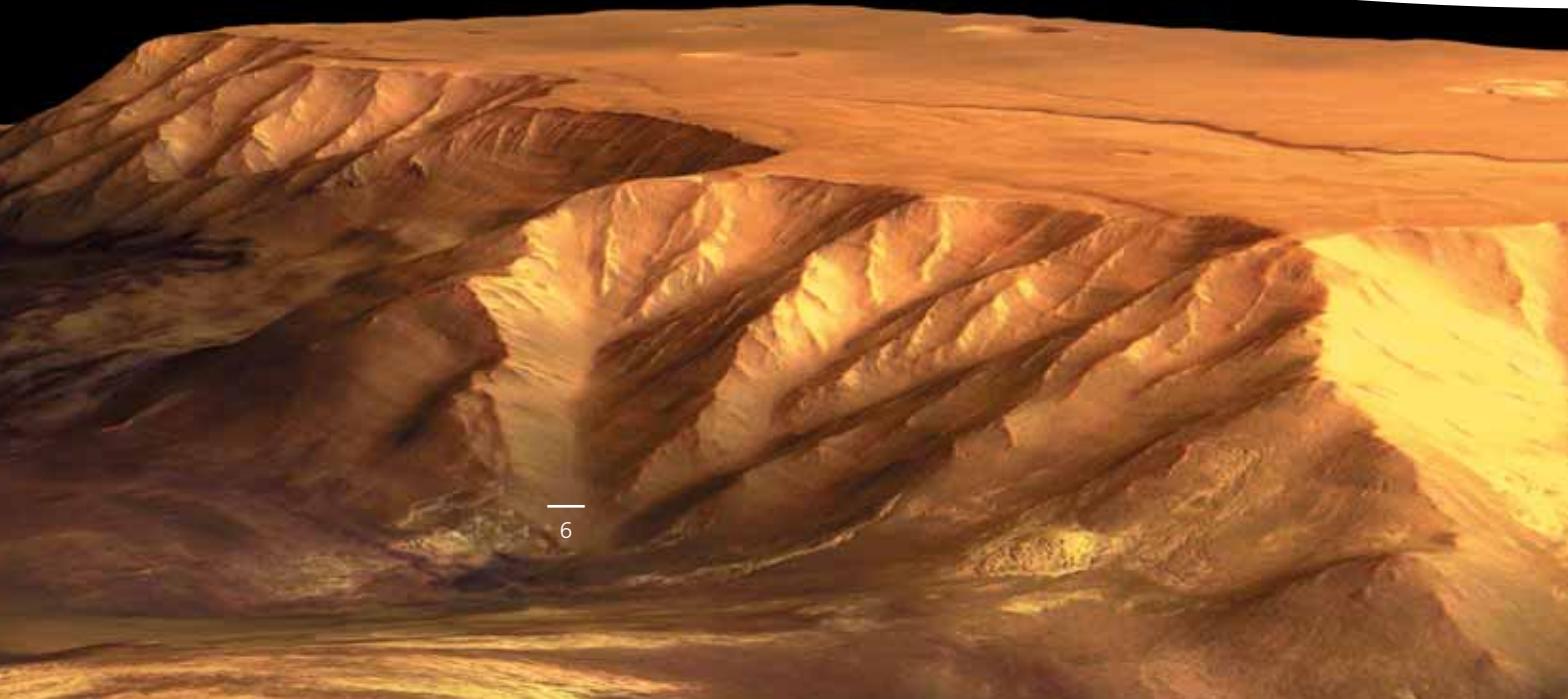
Mars Express – Europe's First Mission to Another Planet

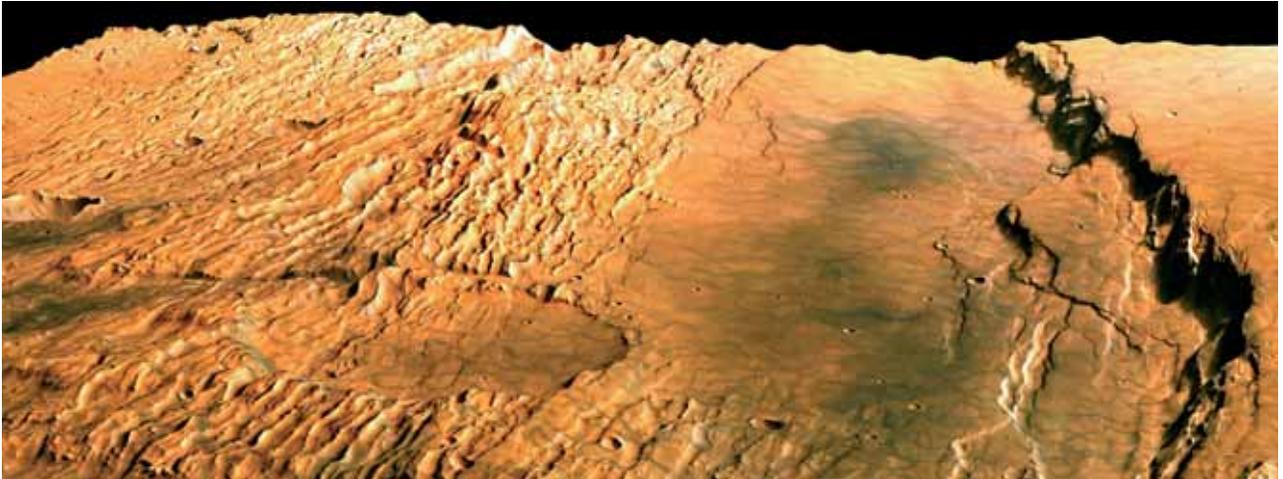
Der Mars ist im Sonnensystem nach Merkur, Venus und Erde der vierte und erdähnlichste Planet. Seine geringfügig größere Entfernung zur Sonne, seine Rotationsdauer, die ausgeprägten Jahreszeiten, eine – wenn auch dünne – Atmosphäre, vertraute Oberflächenformen wie wüstenähnliche Ebenen, Vulkane oder Täler: Dies macht ihn zu einem außerordentlich faszinierenden Forschungsobjekt im Sonnensystem.

Spekulationen über primitive Lebewesen auf dem Mars hielten sich lange Zeit, wurden aber mit den ersten Landemissionen in den 70er-Jahren zunächst widerlegt. Doch die Suche nach dem Lebenselixier Wasser auf dem Roten Planeten elektrisiert die Wissenschaft nach wie vor: Auf den ersten detailreichen Aufnahmen der Marsoberfläche erkannten die Forscher zahlreiche Täler, die darauf schließen lassen, daß in der Frühzeit des Planeten Wasser zumindest episodenhaft über den heute trockenen Planeten geflossen sein

Mars is the fourth planet in the solar system, following Mercury, Venus and Earth. Many surface features let Mars appear to be the planetary body most similar to Earth in the solar system. The distance of both planets to the Sun is roughly comparable. So is its rotational period, or the inclination of its axis causing seasons; like Earth, Mars has an atmosphere, though very thin. Desert plains, volcanoes, canyons and valleys – all this we know from our home planet. A fascinating object of research indeed.

For a long time speculations whether primitive life forms ever existed on Mars were circulating, but could not be verified with the first landing modules in the 1970s. But the search for water is electrifying scientists ever since. In many of the first detailed images of planetary scientists recognized many valleys that led to the conclusion that at least on early Mars water was running episodically over the surface of the planet that today is bone dry. In both the polar caps, but also in the ground of high polar latitudes of both hemispheres large amounts of frozen water is hidden from the views of ordinary cameras.





muß. In den beiden Polkappen, aber auch im Boden der hohen Breiten beider Hemisphären enthält der Mars noch heute große Mengen an Wassereis. Mit den jüngsten Missionen wurden inzwischen sogar im Wasser gebildete Ablagerungen in Form von Sedimentgesteinen identifiziert. Die wesentliche Frage ist heute: War Wasser lange genug vorhanden, dass sich Leben überhaupt entwickeln konnte? Manche Forscher halten das für denkbar.

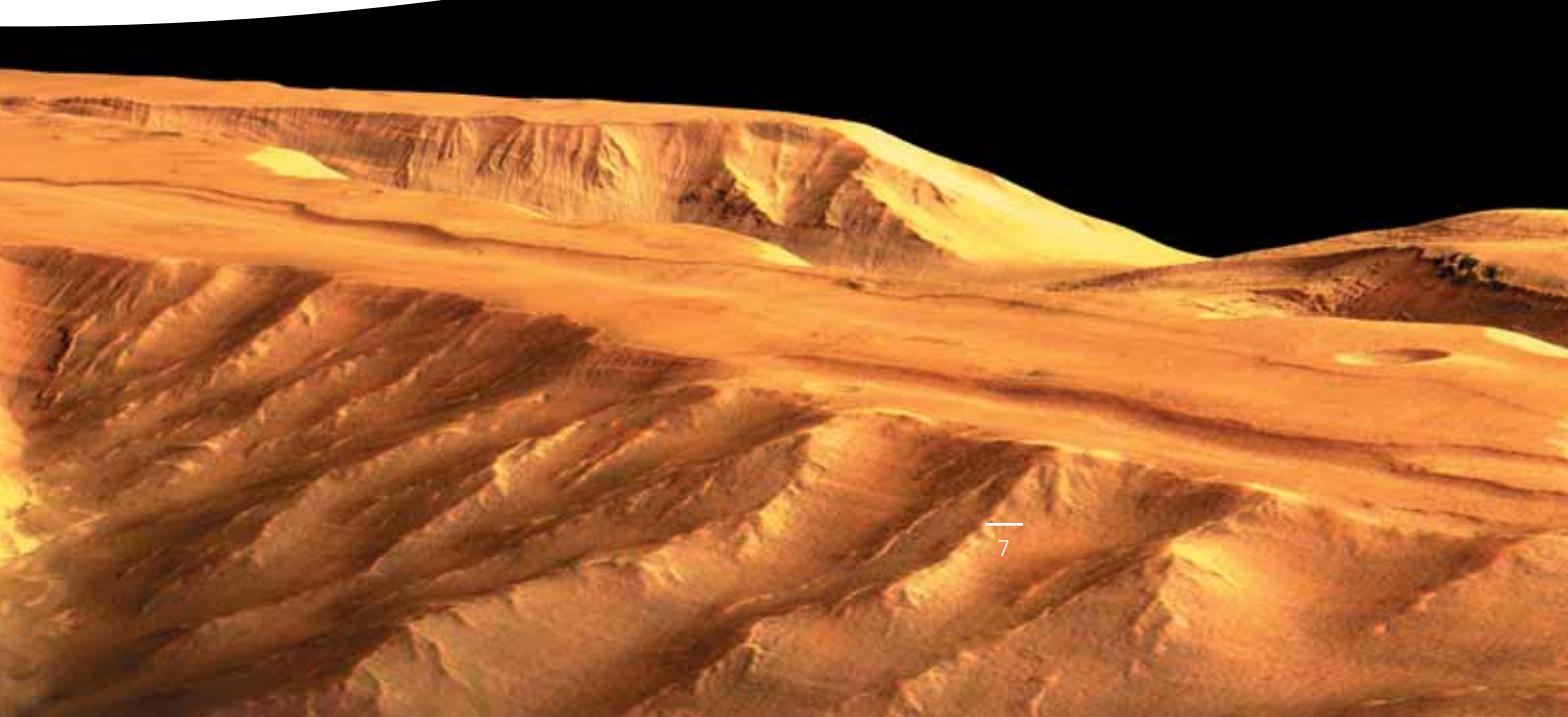
Die Mission Mars Express ist die erste europäische Mission zu unserem Nachbarplaneten, ja zu einem anderen Planeten im Sonnensystem überhaupt. Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) steuert ein wichtiges Instrument bei: die Hochleistungs-Stereokamera HRSC (High Resolution Stereo Camera). Das Kamerasystem wurde am DLR-Institut für Planetenforschung in Berlin entwickelt.

With the most recent American rover missions to the Martian surface for the first time sediments that must have formed in standing or streaming bodies of water have been identified. The fundamental question is rather: Was the water long enough existent on Mars to allow for the evolution of life?

Some scientists think so. Mars Express is the first European mission to the next planet beyond Earth, indeed the first mission to another planet in the solar system. The German Aerospace Center (DLR) is providing one of the most important instruments on the orbiter: The advanced camera system HRSC – High Resolution Stereo Camera. The entire camera system has been engineered at DLR's Institute of Planetary Research in Berlin.

Tektonische Grabenbrüche in Claritas Fossae.
Tectonic grabens in Claritas Fossae.

Berggrücken in den Valles Marineris.
Mountain ridge in the Valles Marineris.



Auf dem schnellsten Weg zum Mars

On a Fast Track to Mars



Dünen und Eisschichten am Nordpol.
Dunes and ice layers at the north pole.

Mars Express ist der Prototyp für so genannte flexible Missionen im Rahmen des Langzeit-Wissenschaftsprogramms „Horizon 2000 plus“ der Europäischen Weltraumorganisation ESA. Diese Projekte zeichnen sich durch eine sehr kurze Vorbereitungszeit und damit geringe Kosten aus. So wurde die Mission Mars Express im Jahr 1999 für einen Start in 2003 beschlossen, da für dieses Jahr eine besonders günstige Planetenkonstellation vorlag. Durch die kurze Laufzeit konnten die Projektkosten sehr niedrig gehalten werden.

Für Mars Express wurden Instrumente und Technologien verwendet, die zum einen bereits für die ESA-Mission „Rosetta“ zum Kometen Churyumov-Gerasimenko und zum anderen für die gescheiterte russische „Mars 96“-Mission entwickelt worden waren; auch für die um die Venus kreisende, baugleiche Schwestersonde Venus Express wurden viele dieser Entwicklungen angepaßt und erneut verwendet.

Im Sommer 2003 war die Entfernung zwischen Erde und Mars mit nur 56 Millionen Kilometern ausgesprochen gering. Es bestand daher die Gelegenheit, relativ viel Nutzlast (bei gleichen Kosten) zum Mars zu senden. Die 1.223 Kilogramm schwere Sonde bestand bei ihrem Start am 2. Juni 2003 vom kasachischen Weltraumbahnhof Baikonur aus einem Orbiter und einem kleinen Landemodul namens „Beagle 2“. Nach einem sechsmonatigen Flug erreichte Mars Express am 25. Dezember 2003 sein Ziel und schwenkte in einen polaren elliptischen Orbit ein. Dabei kommt das Raumschiff der Planetenoberfläche drei- bis viermal am Tag bis auf etwa 250 Kilometer nahe.

Ursprünglich sollte der Orbiter die Planetenoberfläche aus seiner Umlaufbahn für nur ein Marsjahr (zirka zwei Erdenjahre) mit Kamera und Spektrometern kartieren, sowie Atmosphäre, Struktur und Geologie des

Mars Express is the prototype of a so-called “flexible mission” within the “Horizon 2000 Plus” long-time science program of the European Space Agency ESA. These projects are characterized by very short preparation times and consequently lesser costs. In the case of Mars Express the decision to go ahead with the project has been decided in 1999, and lift-off could be scheduled yet for summer 2003, to make use of a very favorable constellation of the two planets in that year. With this short preparation time the expenses for the project could be kept quite low.

Another plus was the use of technologies and instruments formerly developed for both the ESA “Rosetta” mission to the comet Churyumov-Gerasimenko, and the then-failed Russian “Mars 96” mission. Many of the Mars Express experiments could also be adapted and used for Mars Express’ sister spacecraft Venus Express that is orbiting Earth’s inner neighbour since April 2006, saving money one more time.

With only 56 million kilometers, the distance between Earth and Mars in mid 2003 was extremely close. It therefore was a unique opportunity to transport a relatively heavy payload to Mars – at equal costs. When launched at the Baikonur cosmodrome in Kazakhstan on 2 June 2003, Mars Express weighed 1,223 kilograms, consisting of an orbiter and a landing module named “Beagle 2” in reminiscence to Charles Darwin’s discovery ship Beagle. After a six-month journey Mars Express reached its destination on 25 December 2003 and entered an elliptical orbit. Three times per day the space vessel approaches the Martian surface as close as 250 kilometers.

The initial plan was to map the surface of the planet with the camera and spectrometers from orbit for one Martian year, equaling about two Earth years. Another goal was to investigate the atmosphere, geology and structure of the planet. But the tremendous success of this first, two-



Marsmond Phobos.
Marsmond Phobos.

Planeten untersuchen. Der große Erfolg während dieser ersten Missionsphase veranlaßte die ESA, Mars Express um ein weiteres Marsjahr, zunächst bis Ende 2007, und nun bis Mai 2009 zu verlängern. Der robuste Zustand der Instrumente und der Treibstoffvorrat für Bahnlagemanöver würde eine weitere Ausdehnung der Mission bis ins nächste Jahrzehnt gestatten.

Die Landung von Beagle 2 auf der Mars-Oberfläche schlug allerdings fehl. Der Verlust von Beagle 2 ist wissenschaftlich bedauerlich; der Lander hätte durch Analysen von Untergrundproben die Stoffwechselprodukte früheren Lebens aufspüren können. Hierfür wurde unter anderem auch der Bohrer „PLUTO“ am DLR entwickelt und in Beagle 2 integriert. Die ESA plant deshalb, einige der auf Beagle 2 vorgesehenen Experimente auf zukünftigen Landemissionen zum Einsatz zu bringen. Auf die Hauptziele der Mission Mars Express, die allesamt mit den Instrumenten auf dem Orbiter bewerkstelligt werden können, wirkt sich der Ausfall von Beagle 2 nicht nachteilig aus.

An Mars Express sind neben Wissenschaftlern der ESA-Mitgliedsstaaten auch Forscher aus den USA, Russland, Taiwan und Japan beteiligt. Das ESOC, das Bodenkontrollzentrum der ESA in Darmstadt, ist für die Satellitensteuerung zuständig. Hauptauftragnehmer für Mars Express war die Firma EADS-Astrium (Frankreich und Deutschland). Der Lander wurde unter englischer Leitung entwickelt und für die Mission beigestellt. Am DLR-Institut für Planetenforschung in Berlin-Adlershof ist das HRSC Experiment-Team angesiedelt, das den Betrieb der Stereokamera HRSC leitet. Mehrere Wissenschaftler des DLR sind zudem bei der Auswertung der HRSC-Bilder sowie der Spektrometerdaten des französischen Instruments OMEGA engagiert, weitere deutsche Forscher sind an anderen Experimenten beteiligt.

year mission phase motivated ESA to extend the mission for another Martian year, preliminarily at least until the end of 2007, and now until May 2009. The robust design of the instruments as well as the level of fuel still available for orbital correction maneuvers would allow for an extension of the mission well into the next decade.

The landing of Beagle 2 on the surface of Mars failed, though. The loss of Beagle 2 is very regrettable for science. The lander had been able to detect traces left by ancient or actual life forms. At DLR, a drilling device named PLUTO had been designed, built and integrated in the versatile experiment package on Beagle 2 to dig up to two meters deep. Therefore ESA is planning to make use of the technology developed for the lander on future laboratory missions to the surface of Mars. For the principal scientific goals that should be accomplished with the orbiter experiments of Mars Express the failure of Beagle 2 did not have any negative impact.

Besides scientists from the ESA member states, researchers from the USA, Russia, Taiwan and Japan are participating in Mars Express. The European Space Operations Centre (ESOC) in Darmstadt, Germany, is controlling the spacecraft. The principal industrial contractor for the "MEX" bus has been EADS Astrium in France and Germany. The lander has been designed and built by a British consortium. At DLR's Institute of Planetary Research in Berlin the HRSC experiment team is located, managing and running the experiment that gets the biggest share in science data, from the stereo camera HRSC. In addition, several DLR scientists are involved in the evaluation of the HRSC image data as well as of the French OMEGA spectrometer; several other German planetary scientists are participating in other experiments.



Mars Express Orbiter über den Tharsis-Vulkanen (Montage).

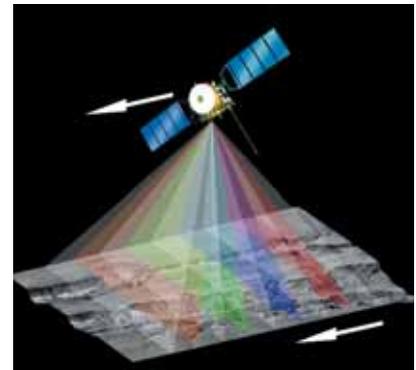
Mars Express orbiter above the Tharsis volcanoes (montage).

Der Mars in 3D – Die Stereokamera HRSC

Mars in 3D – the HRSC Stereo Camera

Die **High Resolution Stereo Camera (HRSC)** ist eine hoch auflösende Stereo- und Farbkamera. Sie wurde am Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt entwickelt und zusammen mit deutschen Industriepartnern (EADS Astrium, Lewicki Microelectronic GmbH und Jena-Optronik GmbH) gebaut. Das Instrument stellt ein in dieser Form bislang einmaliges Experiment dar: Zum ersten Mal bildet ein Kamerasystem eine Planetenoberfläche systematisch in drei Dimensionen und in Farbe ab.

*The **High Resolution Stereo Camera (HRSC)** is a stereo and color imaging system. It has been developed at the German Aerospace Center (DLR), which built it together with German industrial partners (EADS Astrium, Lewicki Microelectronic GmbH and Jena-Optronik GmbH). The instrument is performing a unique experiment never run before: For the first time a camera system is imaging a planetary surface systematically in high resolution, in three dimensions and in colors.*



Dazu wird im Routinebetrieb die Kamera durch Schwenken des Raumschiffes senkrecht zur Marsoberfläche ausgerichtet. Angeschaltet tastet die HRSC nacheinander und zeilenweise mit ihren neun lichtempfindlichen Detektoren die Oberfläche unter neun verschiedenen Beobachtungswinkeln in und gegen die Flugrichtung des Orbiters ab – in vier Stereo- und vier Farbkanälen, sowie dem senkrecht nach unten blickenden Nadirkanal.

Zum einen entsteht durch die Aufzeichnung nicht nur ein Farbbild der Oberfläche, sondern gleichzeitig können über die Stereokanäle auch die Höhen und Tiefen exakt ermittelt werden – am Ende steht ein neuer, globaler Satz an hoch auflösenden und vor allem topographischen Bildkarten des Planeten. Zum anderen ermöglichen die Ergebnisse die Beantwortung fundamentaler Fragen zur geologischen und klimatischen Geschichte unseres Nachbarplaneten.

To achieve this, the camera routinely is pointed perpendicular towards the surface of Mars by tilting the orbiter. When turned on, the HRSC is scanning the surface continuously, line by line, with its nine light-sensitive detectors in and against flight direction. Nine different data sets are recorded this way almost simultaneously, imaged under nine different viewing angles – four stereo channels and four more oblique-viewing color channels – plus the nadir channel that is pointed perpendicular to the surface.

At one hand, this leads to a planar color image of the surface, but in addition, the stereo-angle data recording allows a precise mapping of highs and lows, yielding a new global set of high-resolution-, topographical image maps of the planet. These data are the base to answering fundamental questions of the geological and climatic history of our neighboring planet.

Links: HRSC (oben, mit Streulichtblende) und SRC (unten) mit Digitaleinheit.
Left: HRSC (top, with baffle) and SRC (below) with digital unit.

Rechts: HRSC Funktionsprinzip.
Right: HRSC function principle.

Kerndaten der Mission

Starttermin: 2. Juni 2003

Startort: Baikonur, Kasachstan

Trägerrakete: Sojuz mit Fregat-Oberstufe
(Hersteller: Starsem, Rußland)

Ankunft am Mars: 25. Dezember 2003; 5 Tage zuvor erfolgte Ablösung des Landers Beagle 2

Hauptbodenstation: New Norcia (ESA, Australien), Cebreros (ESA, Spanien), mit Unterstützung des NASA Deep Space Network (Australien/Spainien/Kalifornien)

Bodenempfangszeit: 8 bis 9 Stunden pro Tag

Bodenkontrollstation: European Space Operations Centre (ESOC, Darmstadt)

Missionsdauer: Bis Mai 2009 (zweite Verlängerungsphase)

Umlaufbahn: Ellipse mit marsnächstem Punkt (Perizentrum) bei ca. 250 km und marsfernstem Punkt (Apozentrum) bei ca. 11.100 Kilometer; Inklination: 86-87 Grad („quasi-polarer Orbit“); Orbiterperiode: 6 Stunden 43 Minuten

Core Data of the Mission

Start: 2 June 2003

Location: Baikonur, Kazakhstan

Launcher: Sojuz, with Fregat upper stage
(built by Starsem, Russia)

Arrival: 25 December 2003; 5 days earlier, Beagle 2 had been released

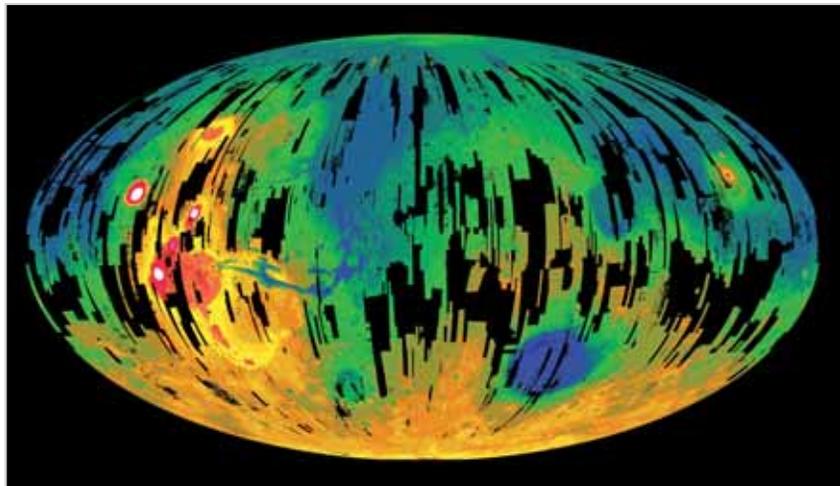
Ground station: New Norcia (ESA, Australia), Cebreros (ESA, Spain), with support of NASA's Deep Space Network (Australia/Spain/California)

Receiving time: 8-9 hours per day

Spacecraft operations: European Space Operations Centre (ESOC, Darmstadt, Germany)

Mission duration: Until May 2009 (second extension phase)

Orbit: Ellipse with closest approach to Mars (pericenter) at approx. 250 km and farthest distance to Mars (apocenter) at approx. 11,100 km; inclination 86-87 deg. ("quasi-polar orbit"); orbital period: 6 hours 43 minutes.



Oben: HRSC-Abdeckung der Marsoberfläche 2004-2008.

Above: HRSC coverage of the Mars surface 2004-2008.



Links: Der Mars gilt aufgrund geomorphologischer Merkmale als der Planet, der unserer Erde am ähnlichsten ist. Außerdem verfügt er über eine dünne Atmosphäre, deren Kohlendioxidmoleküle zu Wolken kondensieren.
Left: Mars frequently is called the most Earth-like planet, with respect to some geomorphologic features. A thin atmosphere surrounds the planet, from which carbon dioxide molecules condensate to form clouds.

Die räumliche Auflösung der Stereobilder übertrifft bisherige topographische Daten bei weitem. Sie erlaubt es den Geowissenschaftlern, Details mit einer Höhengenaugigkeit von bis zu zehn Metern zu analysieren, bei einer Bildauflösung in der Ebene von ebenfalls bis zu zehn Metern pro Pixel. Darüber hinaus verfügt die Kamera über ein zusätzliches, besonders hoch auflösendes Teleobjektiv. Mit diesem elektronisch in das HRSC-System integrierten **Super Resolution Channel (SRC)** können wenige Meter große Objekte abgebildet und in den Kontext der farbigen Stereodaten der HRSC eingebettet werden, beispielsweise Felsbrocken, kleine Einschlagskrater oder Erosionsrinnen.

*The spatial resolution of the stereo images by far surpasses existing data sets. This resolution enables geoscientists to analyze topographical details with a height-precision of up to 10 meters, at an identical planar resolution of 10 meters. In addition, the camera is equipped with an integrated very-high resolution telescope lens. This **Super Resolution Channel (SRC)**, coupled to the electronic signal chain, is able to image objects with dimensions of only a few meters embedded in the HRSC stereo data, like rocks, small impact craters, or erosion gullies.*

Iani Chaos.

Iani Chaos.

Mars Express – sieben wissenschaftliche Experimente

Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) hat sich außer an der HRSC und dem Bohrer PLUTO auf Beagle 2 an weiteren fünf Instrumenten und Experimenten beteiligt. Drei Experimente und Beteiligungen auf dem Orbiter wurden aus Mitteln der Raumfahrt-Agentur des DLR gefördert: MaRS, MARSIS und ASPERA. Außerdem unterstützte das DLR zwei Experimente auf dem Lander.

HRSC (High Resolution Stereo Camera): Experiment zur globalen Kartierung der Marsoberfläche mit hochauflösenden, dreidimensionalen Farbbilddaten, die zur Beantwortung fundamentaler Fragen bezüglich der geologischen Entwicklung des Mars dienen.

ASPERA (Analyser of Space Plasmas and Energetic Atoms): Messung von energiereichen Neutralteilchen, Ionen und Elektronen aus der Mars-Atmosphäre zur Untersuchung der Wechselwirkung des Sonnenwinds mit der Marsatmosphäre.

MaRS (Mars Radio Science): Analyse der Radiosignale des Datentransfers vom Satelliten zur Antenne auf der Erde hinsichtlich feinsten Veränderungen durch die Marsatmosphäre und das Gravitationsfeld des Mars.

MARSIS (Mars Advanced Radar for Subsurface and Ionosphere Sounding): Radarexperiment, das im Radio-Frequenzbereich (1,3-5,5 Megahertz) auf der Nachtseite die Schichten der Planetenoberfläche bis zu mehreren Kilometern Tiefe, auf der Tagseite dagegen die Ionosphäre des Mars analysiert.

OMEGA (Observatoire pour la Minéralogie, l'Eau, les Glaces et l'Activité): Beobachtung der Marsoberfläche mit 352 Spektralkanälen im visuellen Licht (0,35 bis 1,0 µm), dem reflektierenden Infrarot (1,0 bis 2,5 µm) und dem thermalen Infrarot (2,5 bis 5,1 µm) zur Bestimmung der Mineralogie und der molekularen Zusammensetzung der Atmosphäre.

PFS (Planetary Fourier Spectrometer): Untersuchung des infraroten Wellenlängenspektrums für atmosphärische Fragestellungen. Ziel ist ein besseres Verständnis der Entwicklung des Klimas und der Atmosphäre, insbesondere unter Berücksichtigung der Rolle von Wasser.

SPICAM (Spectroscopy for the Investigation of the Characteristics of the Atmosphere of Mars): Aufzeichnung ultravioletter bzw. infraroter Wellenlängen mit zwei Spektrometern zur Untersuchung der Atmosphäre und Ionosphäre.

Mars Express – Seven Scientific Experiments

Besides the funding of the HRSC imaging system and the PLUTO soil-penetrator on the Beagle 2 landing module, the German Aerospace Center (DLR) contributed to five more experiments on Mars Express. Three experiments and participations on the orbiter are supported by money from DLR's Space Agency: MaRS, MARSIS, and ASPERA. In addition, DLR funded two experiments on the lander.

HRSC (High Resolution Stereo Camera): Experiment for the global mapping of the Martian surface with high-resolution three-dimensional color-image data to answer fundamental questions regarding the geological evolution of planet Mars.

ASPERA (Analyser of Space Plasmas and Energetic Atoms): Measuring of energetic neutral particles, ions and electrons from the atmosphere of Mars to investigate the mutual effects of the solar wind with Mars' atmosphere.

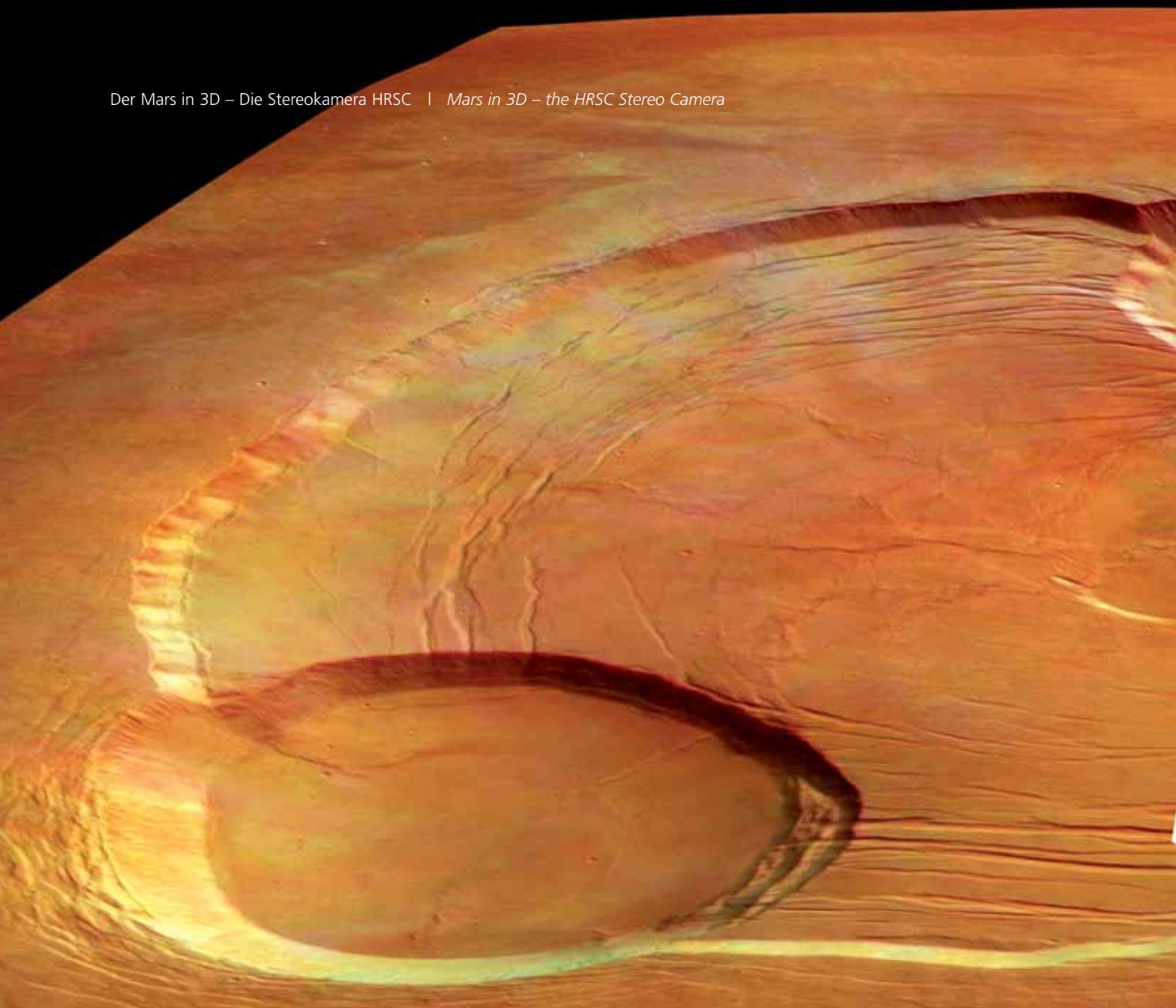
MaRS (Mars Radio Science): Analysis of downlink radio signals between satellite and the ground station for minute changes from the transfer through the Martian atmosphere and the gravitational field.

MARSIS (Mars Advanced Radar for Subsurface and Ionosphere Sounding): Radar experiment emitting radio frequencies (1.3-5.5 Megahertz), penetrating the surface of the planet several kilometers on the nightside, and analyzing the ionosphere on the dayside.

OMEGA (Observatoire pour la Minéralogie, l'Eau, les Glaces et l'Activité): Observation of the surface with 352 spectral channels in the visual light (0.35-1.0 µm), the reflecting infrared (1.0-2.5 µm) and the thermal infrared (2.5-5.1 µm) to map the mineralogy of the surface and the molecular composition of the atmosphere.

PFS (Planetary Fourier Spectrometer): Analysis of the infrared wavelengths for atmospheric research, in order to better explaining the climatic and atmospheric evolution with respect to the role of water.

SPICAM (Spectroscopy for the Investigation of the Characteristics of the Atmosphere of Mars): Recording signals in the ultraviolet, respectively infrared wavelength spectrum with two spectrometers to analyze the atmosphere and ionosphere.

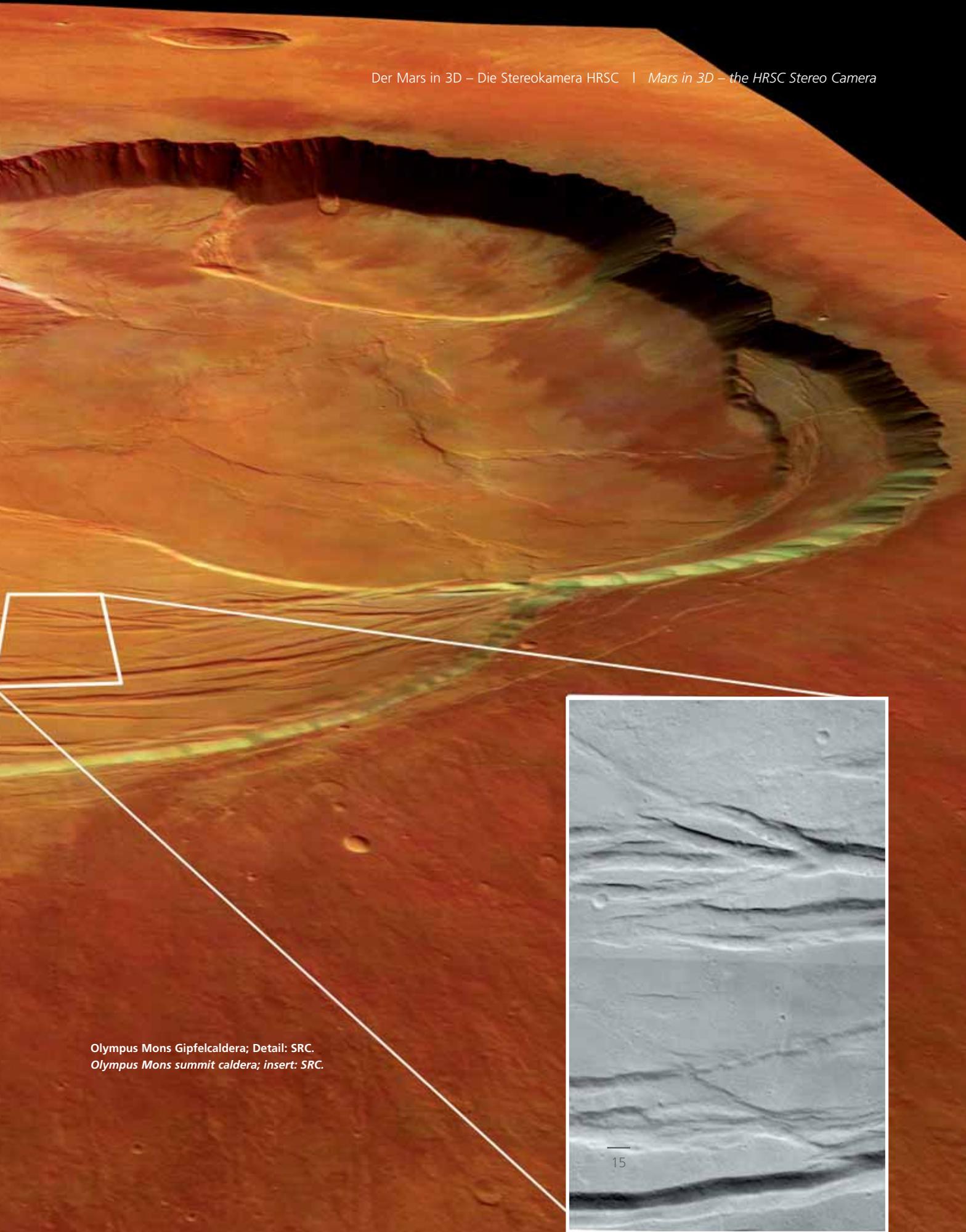


Mars Express Orbiter – Wissenschaftliche Ziele

- Hochauflösende topographische und morphologische Kartierung des Mars mit HRSC:
 - 50 Prozent der Marsoberfläche in einer Auflösung von 10 bis 20 Metern pro Pixel.
 - 100 Prozent der Oberfläche besser als 40 Meter pro Pixel.
 - Gezielte Beobachtungen mit dem Super Resolution Channel.
- Geologische und mineralogische Kartierung durch Multispektral- und abbildende Spektrometerdaten.
- Analyse der atmosphärischen Vorgänge und Zusammensetzung.
- Untersuchung der Untergrundstruktur (insb. Permafrost).
- Wechselwirkung der Planetenoberfläche mit der Atmosphäre.
- Wechselwirkung der Atmosphäre mit dem interplanetaren Medium.

Mars Express Orbiter – Scientific Goals

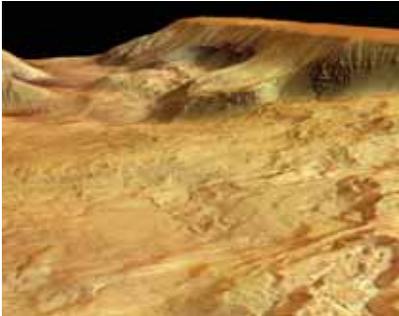
- High-resolution topographical and morphological mapping of Mars with HRSC:*
 - 50 per cent of the surface of Mars in image resolutions of 20 meters per pixel and better.*
 - 100 per cent of the surface better than 40 meters per pixel.*
 - Targeted observations with the Super Resolution Channel.*
- Geological and mineralogical mapping with multispectral image and spectrometer data.*
- Analysis of processes in and composition of the atmosphere.*
- Analysis of the sub-surface structure (permafrost in particular).*
- Mutual effects between planetary surface and atmosphere.*
- Mutual effects between atmosphere and interplanetary medium.*



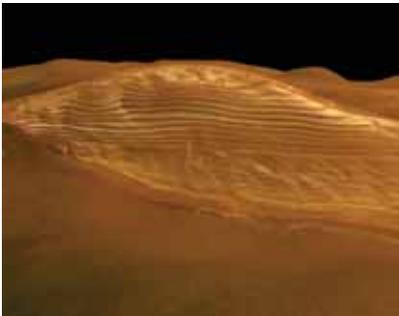
Olympus Mons Gipfelcaldera; Detail: SRC.
Olympus Mons summit caldera; insert: SRC.

Mars global – Neue Daten für die Forschung

Globally New Mars Data for Research



Ophir Chasma.
Ophir Chasma.



Juventae Chasma: Ablagerungsschichten.
Juventae Chasma: Layered deposits.

Die Gesamtleitung des HRSC-Experiments auf Mars Express hat der „Principal Investigator“ Gerhard Neukum von der Freien Universität Berlin. Während der Mission wird die HRSC vom Experiment-Manager Ralf Jaumann und dem HRSC-Experiment-Team am DLR-Institut für Planetenforschung in Berlin-Adlershof kommandiert und betrieben. Dort findet auch die Aufbereitung der Rohdaten zu wissenschaftlich verwertbaren Bilderzeugnissen statt.

Die nur 20 Kilogramm schwere HRSC verfügt über zwei Kameraköpfe: zum einen den hochauflösenden Stereokopf, der aus neun CCD-Zeilensensoren besteht, die hinter einem Objektiv in der Brennebene parallel angeordnet sind. Und zum anderen aus dem SRC-Kopf, der aus einem Spiegelteleskop und einem CCD-Flächensensor aufgebaut ist. Der hochauflösende Stereokopf funktioniert nach dem Scanner-Prinzip, das heißt: Durch die Anordnung seiner neun Zeilensensoren quer zur Flugrichtung nimmt jeder dieser Sensoren aufgrund der Vorwärtsbewegung des Raumschiffs nacheinander denselben Bildstreifen von der Marsoberfläche Zeile für Zeile auf. Dabei bildet jeder der neun Sensoren dasselbe Objekt auf der Oberfläche unter einem unterschiedlichen Blickwinkel ab.

Am marsnächsten Punkt der elliptischen Umlaufbahn, dem Perizentrum, liegen zwischen Raumschiff und Mars nur knapp 250 Kilometer. Bei dieser Höhe über dem Mars beträgt die höchste Auflösung des zentralen, senkrecht nach unten blickenden Bildstreifens, dem Nadir, zehn Meter für jedes der 5.184 Pixel. Jeder Bildstreifen ist dann 52 Kilometer breit, gleichzeitig aber beliebig lang: In der Regel haben die HRSC-Bildstreifen eine Länge von mehreren hundert Kilometern; sie können jedoch auch bis zu 4.000 Kilometer lang sein. Die Bildlänge hängt ausschließlich von der Da-

The HRSC experiment is lead by the Principal Investigator, Gerhard Neukum from Free University Berlin. During the mission, the HRSC is commanded and managed by the HRSC experiment manager, Ralf Jaumann, and his HRSC experiment team at DLR's Institute of Planetary Research in Berlin-Adlershof. It is there where all raw data are processed to scientifically useable image products.

Weighing less than 20 kilograms, HRSC consists of two separate camera heads: First, the high-resolving stereo head with nine CCD line sensors that are oriented parallel in the focal plane behind the lens. And second, the SRC head with a mirror telescope and a CCD frame. The stereo head is operating by the scanning principle – due to the forward-movement of the spacecraft and the alignment of the nine line-sensors square to the flight direction, each sensor is recording subsequently the identical area of the Martian surface, line by line. And: each sensor is imaging the landscape under a different viewing angle.

Only 250 kilometers lie between the spacecraft and Mars at the pericenter, the point of closest approach during the elliptical orbit. At this altitude the highest resolution is obtained by the nadir, the channel that has a direct line of sight to the surface: about ten meters for each of the 5,184 pixels of one line. Consequently, every image strip is at least 52 kilometers wide, but infinitely long – usually the HRSC image strips of one imaging sequence have a length of several hundred kilometers, but they can be as long as 4,000 kilometers; the image length is only limited by the capacity of the mass memory and the time available for down-link. With this principle extended areas

tenspeicher- und Übertragungskapazität des Raumschiffs ab. So lassen sich unter homogenen Beleuchtungs- und Atmosphärenbedingungen große Geländeabschnitte aufzeichnen, ein großer Fortschritt gegenüber früheren Kartierprojekten.

Der Super Resolution Channel wird wie eine Lupe eingesetzt. Er liefert im Perizentrum pro Einschaltzyklus mehrere 2,35 mal 2,35 Kilometer große Bilder in der Mitte der HRSC-Bildstreifen. Die Aufnahmen des SRC haben eine Auflösung von 2,3 Metern pro Pixel. Diese SRC-Aufnahmen erhalten ihren besonderen Wert durch den geologischen Kontext der Umgebung, in den sie eingebettet sind, und der durch den gleichzeitig aufgenommenen, breiten HRSC-Streifen gegeben ist.

Vor der Datenübertragung werden die Bilder in der HRSC-Digitaleinheit komprimiert und im Orbiter zwischengespeichert. Auf der Erde werden die Marsaufnahmen zunächst beim DLR systematisch prozessiert und dann zur weiteren Verarbeitung und Analyse an das HRSC-Team, das aus 45 Wissenschaftlern in elf Ländern besteht, weitergeleitet.

Das HRSC Experiment-Team des DLR erzeugt zunächst aus den Stereodaten digitale 3D-Modelle der Marsoberfläche. Mit Hilfe dieser topographischen 3D-Informationen werden anschließend die 4 Farbbilder der HRSC so korrigiert, dass sich messtechnisch nutzbare Farbdaten der Marsoberfläche ergeben. Die präzise in das Koordinatensystem des Mars eingepaßt sind. Die Verknüpfung der Farbinformation mit den 3D-Geländemodellen ermöglicht nun detaillierte wissenschaftliche Auswertungen sowie die Erstellung perspektivischer Farbansichten oder gar 3D-Filme der Marsoberfläche.

can be recorded under the same viewing geometry and homogeneous atmospheric conditions – a tremendous step forward compared to earlier mapping projects.

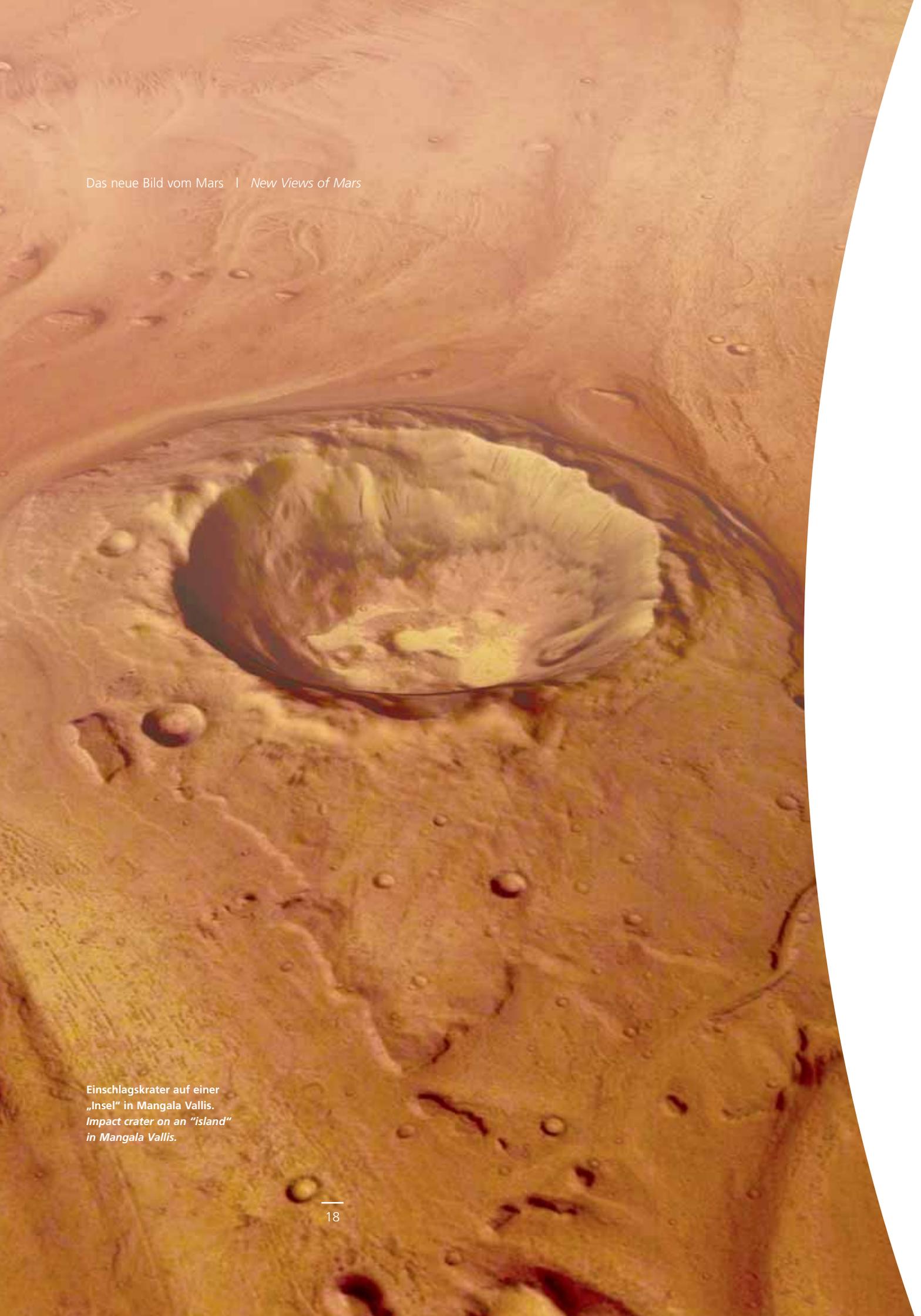
The Super Resolution Channel is used like a magnifying glass. At pericenter, the SRC images obtained per recording cycle cover an area of 2.35 by 2.35 kilometers per frame, in the very center of the HRSC image strips. The SRC images have a resolution of 2.3 meters per pixel. The specific value of these images is given by the geological context of the surrounding HRSC strips in which the SRC frames can be embedded.

Before the data can be transmitted to Earth the images are compressed in the digital unit in real-time and stored in the mass memory of the orbiter. On ground all image data are systematically processed by DLR and then distributed to the HRSC team, comprised of 45 scientists in 11 countries, for further use and analysis.

From the stereoscopic data the HRSC Experiment Team at DLR first calculates digital 3D models of the Martian surface. With this topographical 3D information the 4 color scenes of the same imaging sequence can be corrected, so that the color data contain measurable and precise information. Linking the color information with the three-dimensional digital terrain model now allows for the detailed scientific evaluation and the production of colored perspective views or even animated 3D movies showing the surface of Mars.

Nanedi Valles.
Nanedi Valles.





Einschlagskrater auf einer
„Insel“ in Mangala Vallis.
*Impact crater on an “island”
in Mangala Vallis.*

Das neue Bild vom Mars

New Views of Mars

Die erste Missionsphase, in der die ESA einen reibungslosen Raumflug im Marsorbit sicherstellte und den simultanen Einsatz der wissenschaftlichen Instrumente ausgiebig testete, wurde Mitte 2004 erfolgreich abgeschlossen. Seit Beginn der Mission verlaufen die Experimente mit den Kameras und Messgeräten zur vollen Zufriedenheit der beteiligten Forscher. Insbesondere die Bilder der Stereokamera erzeugten bei Wissenschaftlern und Öffentlichkeit gleichermaßen großes Interesse. Auch die wissenschaftliche Auswertung lieferte bald schon erste bedeutsame Ergebnisse.

Die komplette Kartierung des Mars in hoher Auflösung und in 3D stellt die Hauptaufgabe des HRSC-Experiments dar. Seit ihrem ersten Einsatz am 10. Januar 2004 bis zur Jahresmitte 2007 nahm die HRSC bereits 65 Millionen Quadratkilometer unseres Nachbarplaneten in einer Auflösung von 50 Metern pro Bildpunkt (Pixel) auf – und 50 Millionen km² in einer Auflösung von zehn bis 20 Metern pro Bildpunkt – und dies in Farbe und in drei Dimensionen: Das entspricht mehr als einem Drittel der Marsoberfläche, die mit 145 Millionen km² so groß ist wie die Fläche aller Kontinente der Erde.

Die Kamera ist für die systematische Kartierung des Mars ein ideales Instrument, das gleich mehrere Lücken in den Bilddaten zur Erforschung des Planeten schließen wird. Erstmals wurde der Mars bereits Ende der 1970er-Jahre von den beiden Viking-Missionen flächendeckend kartiert – doch HRSC liefert in globaler Abdeckung eine sieben- bis zwölfmal bessere Auflösung.

Die Forscher des HRSC-Teams erstellten ferner eine Liste von über 1.500 wissenschaftlich bedeutenden Zielen, die im Laufe der Mission von der Kamera in möglichst hoher Auflösung kartiert werden sollen. Zu bestimmten günstigen Gelegenheiten werden sogar die beiden Marsmonde Phobos und Deimos aus kurzer Distanz aufgenommen. Mit den Bilddaten können aber auch bestimmte Charakteristika und dynamische Phänomene der Marsatmosphäre untersucht werden.

During the first phase of the mission ESA safeguarded the spacecraft early into a flawless orbit around Mars and extensively tested the simultaneous operation of the scientific instruments. This "commissioning phase" was concluded in mid 2004. Since they were turned on for the first time, all seven experiments performed with the suite of remote-sensing instruments are running to full satisfaction of the scientists. In particular, the images of the stereo camera were stimulating interest in the research community and the public. Soon the scientific evaluation yielded the first significant results.

One of the major tasks of the HRSC experiment is the complete mapping of Mars in high resolution and in 3D. Since the camera was turned on the first time on 10 January 2004, HRSC yet has mapped 65 million square kilometers of the planet until mid 2007 in a resolution of at least 50 meters per pixel – and 50 million km² in resolutions of ten to 20 meters per pixel, in color and in 3D. This is more than one third of the Martian surface, that covers an area of 145 million km², about as much as all continental land mass on Earth.

The camera is perfectly suited for systematically mapping Mars and will close several gaps in the existing data sets used for the exploration of the planet. It is the first time since the two Viking orbiters imaged the planet in the late 1970s that Mars is surveyed globally. HRSC will eventually cover all Martian surface, but in seven to twelve times higher resolution.

The scientists in the HRSC team completed a list of more than 1,500 scientifically important targets that should be mapped by the camera in the course of the mission with the highest-possible resolution. At favorable orbital conditions even the two Martian satellites, Phobos and Deimos, can be imaged from short distances. The images can also be used for the analysis of specific characteristics and dynamical phenomena of the Martian atmosphere.



Nicholson-Zentralberg.
Central mountain in Nicholson.



Flußbett in den Libya Montes.
River bed in the Libya Montes.

Feuer, Wasser, Eis, Methan und Sulfate

Fire, Water, Ice, Methane and Sulfates

Der Schwerpunkt der wissenschaftlichen Arbeit mit den HRSC- und SRC-Daten liegt in der geomorphologischen Analyse des Oberflächenreliefs. So zeigt z.B. die bisherige Auswertung, dass der Vulkanismus auf dem Mars sehr langlebig gewesen sein muss und bis in die jüngste geologische Vergangenheit andauerte. Zwar kam die vulkanische Aktivität im Hochland vor rund drei Milliarden Jahren zum Erliegen, konzentrierte sich danach aber auf die Vulkane der Tharsis- und Elysium-Region. Die HRSC-Daten legen nahe, dass geologische Prozesse vor weniger als 500 Millionen Jahren viel häufiger auftraten als früher angenommen.

Außerdem wurden Hinweise auf jungen, explosiven Vulkanismus gefunden, der bisher nur für die Frühphase des Mars beschrieben wurde. Die Art und Weise vulkanischer Eruptionen ist abhängig von der Zusammensetzung der Lava und dem Anteil an leichtflüchtigen Bestandteilen wie Wasserdampf und Kohlendioxid. Die jüngsten vulkanischen Ablagerungen wurden bisher an der Westflanke des Olympus Mons gefunden und entstanden vor etwa zwei Millionen Jahren. Nach geologischem Zeitverständnis bedeutet dies, dass eine heute noch andauernde vulkanische Restaktivität auf dem Mars nicht mehr ausgeschlossen werden kann. Darauf könnten auch lokale Konzentrationen des kurzlebigen Grubengases Methan (CH_4) hindeuten, die mit dem Fourier-Spektrometer PFS auf Mars Express über Vulkanprovinzen entdeckt wurden.

Besonderes Interesse der Marsforschung gilt der Rolle des Wassers und der damit verbundenen Oberflächenprozesse im Verlauf der Entwicklungsgeschichte unseres Nachbarplaneten. Unter den heute herrschenden Atmosphärenbedingungen kann Wasser in flüssiger Form an der Oberfläche nicht existieren und als Wassereis nur in hohen Breiten über längere Zeit stabil bleiben. Dem widersprechen jedoch zahlreiche trocken gefallene, verzweigte Talsysteme und riesige Ausflusstäler, die seit den 70er-Jahren bekannt sind.

A priority in the scientific evaluation of the HRSC and SRC data is the geomorphological analysis of the surface relief. It could be shown that volcanism on Mars was active over long periods of its history and even lasted until geological recent times. Though most volcanism in the Martian highlands ceased about three billion years ago, it was then concentrated on the volcanoes of the Tharsis and Elysium province. The HRSC data show the occurrence of geologic processes younger than 500 million years in much higher frequency than previously thought.

Besides this, signs of young, explosive volcanism have been found, so far only known from the early geologic history of Mars. The mode of volcanic eruptions is dependent of the composition of the lava and its content of volatiles, like vapor or carbon dioxide. The most recent volcanic deposits identified, only two million years old, have been seen on the western escarpment of Olympus Mons. In geological terms this implies that some dormant volcanic activity cannot be ruled out for the present time. This may be supported by findings of local concentrations of the short-lived gas methane (CH_4), identified above volcanic provinces with the Planetary Fourier Spectrometer (PFS).

The role of water, and the surface processes linked to it during the geological evolution of Earth's neighboring planet is of particular interest in Martian research. Under the present atmospheric conditions liquid water cannot exist on the surface of Mars. Only in the form of ice in high latitudes water is stable for longer periods of time. Puzzling, though, is the presence of numerous dry-fallen, dendritic valley systems and gigantic outflow channels known since the 1970s.



„Eisschollen“ in Elysium Planitia.
“Ice rafts” in Elysium Planitia.



Geschichtete Sulfatablagerungen in Hebes Chasma, Valles Marineris (Falschfarbenbild).
Sulfate layers in Hebes Chasma, Valles Marineris (false-color view).

Klimawandel auf dem Mars

Climatic Changes on Mars

Mehrere von HRSC entdeckte Deltaablagerungen belegen, dass zumindest in der Frühphase des Planeten andere klimatische Bedingungen vorherrschten. Das Spektrometer OMEGA auf Mars Express hat Sulfatablagerungen identifiziert, die sich nur in wäßrigem Millieu gebildet haben konnten. Episodisch gab es sowohl fließende als auch stehende Gewässer auf dem Mars. Flüsse und Seen verschwanden jedoch vor drei Milliarden Jahren fast vollständig – jüngere Erosions- und Sedimentationsspuren von Gewässern sind sehr viel seltener; heute fließt kein Wasser mehr über den Mars.

Spektakulär sind zum Teil außergewöhnlich junge Oberflächenformen, die von Gletschern herrühren könnten und Zeugnis über die bewegte klimatische Geschichte des Roten Planeten ablegen. Überraschend ist, dass diese vermutlich glazialen Formen in mittleren bis niedrigen Breiten, also unweit des Äquators auftreten, beispielsweise an den Flanken der großen Vulkane. Am Westabbruch des Olympus Mons finden sich Hinweise für mindestens drei Episoden der Aktivität von Gletschereis innerhalb der letzten 300 Millionen Jahre. Die jüngste fand vor etwa vier Millionen Jahren statt und hinterließ zungenförmige Ablagerungen, so genannte „Blockgletscher“, die unter einer dicken Schuttschicht möglicherweise noch heute Gletschereis enthalten.

Es wird vermutet, dass diese jungen Spuren einer Eiszeit in mittleren Breiten, die unter heutigen klimatischen Bedingungen nicht erklärbar sind, auf starke Schwankungen der Neigung der Rotationsachse des Mars zurückzuführen sind. Modellrechnungen zeigen, dass die Neigung der Mars-Achse, die heute etwa 25° beträgt, vor vier bis fünf Millionen Jahren etwa 10° größer war und dadurch am Äquator – und nicht nur dort – völlig andere klimatische Verhältnisse herrschten.

Several delta-like sediment deposits show that at least during the early phases of Martian history different climatic conditions prevailed. The OMEGA spectrometer on Mars Express identified sulfates that must have formed in the presence of water. Both running water and standing bodies of water episodically existed on the surface of Mars. But this water almost completely disappeared approximately three billion years ago. From more recent times significantly fewer signs of surface water could be identified – and today water is no longer streaming over the surface.

Quite spectacular are extraordinarily young surface features that could have been shaped by glaciers. They give proof to the extremely changeable climatic history of the “Red Planet”. Surprisingly, these landforms likely formed by glaciers occur in mid and low latitudes, and are even situated close to the equator – on the flanks of the Olympus Mons volcano, for example. At the western escarpment of Olympus Mons there are signs for at least three episodes of glacial activity during the last 300 million years. The most recent active period happened probably only four million years ago and left arcuate, lobate-shaped deposits covered by a thick layer of rocky debris called rock glaciers. Possibly ice could still be found under this protecting layer.

Scientists are assuming that these very young remnants of an “ice age” in mid-latitudes – which cannot be explained under current atmospheric conditions – has been caused by extreme variations in the inclination of Mars’ rotational axis. Model calculations show that the inclination of the polar axis, today at about 25 degrees, only four to five million years ago was probably ten degrees higher, leading to completely different climatic conditions at the equator, and all over Mars.

Tafelberge in Cydonia.
Table mountains in Cydonia.



Neben der Erforschung der Marsoberfläche wird HRSC auch zur Atmosphärenforschung eingesetzt. So ermöglicht der geringe Zeitunterschied zwischen den einzelnen HRSC-Detektoren erstmals die exakte Bestimmung der Fortbewegungsgeschwindigkeit sogenannter „Staubteufel“ (Windhosen) aus der Marsumlaufbahn. Die von HRSC gemessenen Geschwindigkeiten liegen zwischen 25 bis 30 Metern pro Sekunde, wobei einzelne, bis zu mehreren tausend Metern hohe Staubteufel innerhalb kürzester Zeit neu entstehen, aber auch in sich zusammenfallen können.

Dank der elliptischen Umlaufbahn von Mars Express kreuzt das Raumschiff die Umlaufbahn des Marsmondes Phobos, und es kommt immer wieder zu nahen Vorbeiflügen. HRSC nutzt diese Möglichkeiten, um diesen Mond näher zu untersuchen. Die bisher größte Annäherung betrug 150 Kilometer. Auf der Basis von HRSC-Messungen konnte das auf Viking-Daten beruhende Modell der Gestalt von Phobos für ein Drittel seiner Oberfläche um ein Vielfaches verbessert werden. Darüber hinaus konnten mit HRSC-Beobachtungen auch aus größerer Entfernung die Bahnparameter für beide Marsmonde, Phobos und Deimos, deutlich verbessert werden.

Besides for the exploration of the surface of Mars, HRSC is also used for atmospheric research. The short time passing between the individual recordings of each single HRSC detector line allows for a precise determination of the speed of "dust devils" moving over the Martian surface from orbit. These atmospheric phenomena sometimes can be as high as several kilometers. The speeds measured by HRSC are as high as 25 to 30 meters per second, with single dust devils forming in short periods of time and also disintegrating rapidly.

Due to the elliptical orbit of Mars Express the spacecraft is crossing the orbit of Mars' satellite Phobos from time to time so that close encounters can occur. HRSC is making use of these opportunities to investigate Phobos from short distance. The closest flyby so far was accomplished at only 150 kilometers distance. Based on HRSC measurements the model for one third of the shape of Phobos' surface, known from Viking image data, could be improved manifold. In addition, the HRSC observations of Phobos and Deimos from larger distances lead to an increased precision of the orbital parameters of these satellites.

**Blockgletscher in Deuteronilus Mensae .
Rock glacier in Deuteronilus Mensae.**

Daten für die Zukunft

Data for the Future

Die Bilddaten der HRSC, wie überhaupt die gesamten Messungen der sieben Experimente von Mars Express, können noch über viele Jahre ausgewertet werden. Sie sind ein Grundstock für die zukünftige Erforschung des Planeten Mars, die ihre Fortsetzung in der Durchführung zunächst mehrerer Landemissionen Europas (ExoMars) und der USA in den kommenden zehn Jahren finden wird. Die topographischen Daten der Stereokamera dienen bei der Auswahl von wissenschaftlich vielversprechenden Zielen als wertvolle Grundlage und können zudem bei der Beurteilung der Landesicherheit von großem Nutzen sein. Mars Express ist ein Meilenstein in der Erkundung des inneren Sonnensystems.

Both the images from HRSC and the data of all seven experiments of Mars Express can be used for scientific analysis for years to come. They form the foundation for future research of planet Mars that will have its continuation with several landing missions, both by Europe (ExoMars) and the United States in the next ten years. The topographical data of the stereo camera serve as a valuable base for the selection of scientifically promising targets and will be of good use for the evaluation of safety aspects of future landing sites. Mars Express is a milestone in the exploration of the inner solar system.

**Südlicher Arm der Kasei Valles
und Mensa Sacra.**
*Southern arm of Kasei Valles
and Mensa Sacra.*





Quellenangabe

Alle Bilder:
ESA/DLR/FU Berlin
(G. Neukum),

außer:

Seite 10: ESA/NASA/JPL
Seite 11: DLR/EADS Astrium
Seite 11: DLR/E. Hauber
Seite 12: DLR/F. Scholten
Page 12: (Mars global):
NASA/MSSS

References

All Images:
ESA/DLR/FU Berlin
(G. Neukum),

except:

Page 10: ESA/NASA/JPL
Page 11: DLR/EADS Astrium
Page 11: DLR/E. Hauber
Page 12: DLR/F. Scholten
Page 12: (Mars global):
NASA/MSSS

Herausgeber/ Published by

**Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.**
in der Helmholtz-Gemeinschaft

German Aerospace Center
Member of the Helmholtz Association

Institut für Planetenforschung/
Institute of Planetary Research

Anschrift/Address

Rutherfordstraße 2
D-12489 Berlin-Adlershof
www.DLR.de/pf

Redaktion/Editor

Prof. Dr. Ralf Jaumann, Ulrich Köhler

Gestaltung/Design

ziller design, Mülheim an der Ruhr

Druck/Printed by

Buch- und Offsetdruckerei Richard
Thierbach GmbH, Mülheim an der Ruhr

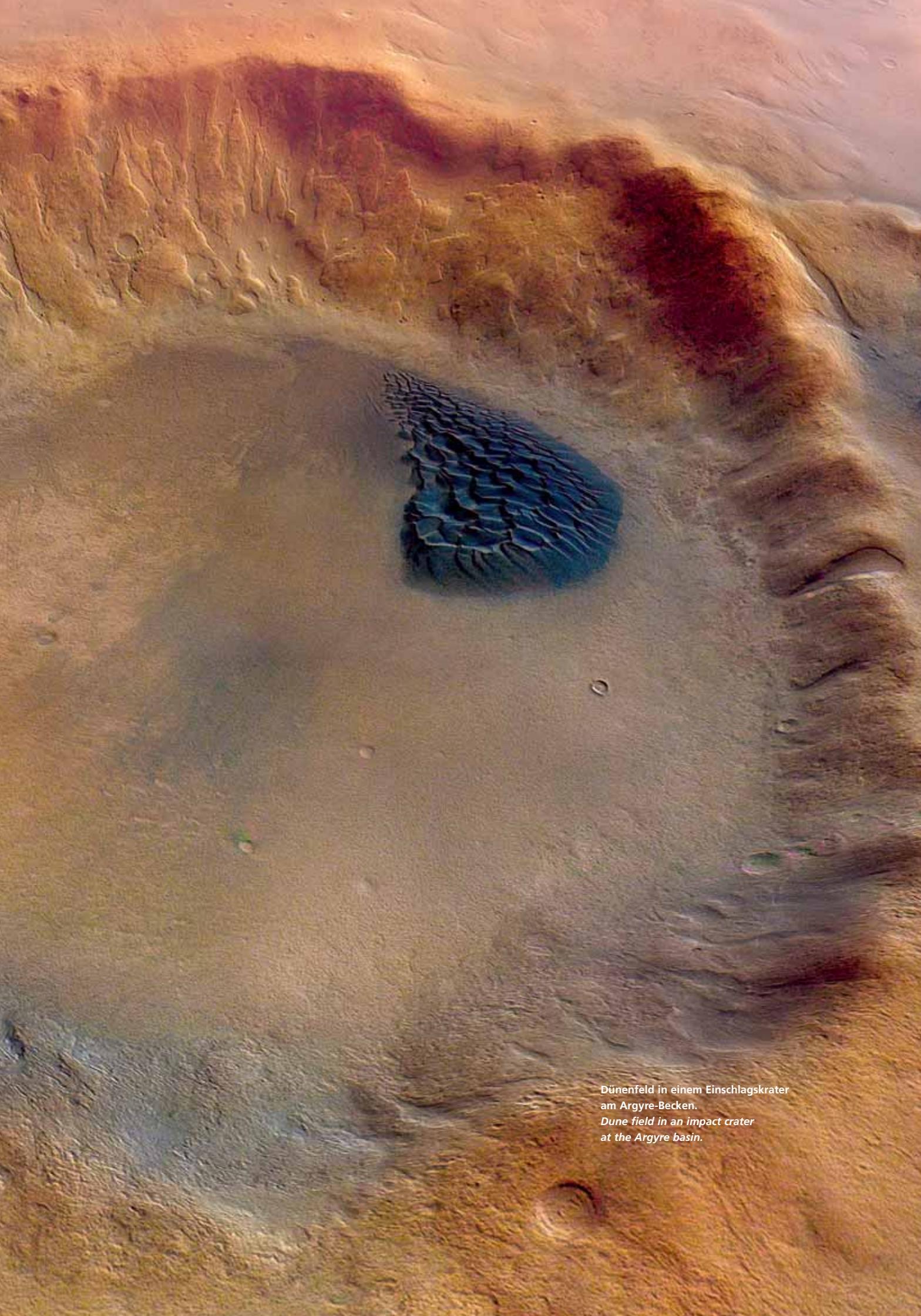
Drucklegung/ First Impression

Berlin, September 2008

Abdruck (auch von Teilen) oder sonstige
Verwendung nur nach vorheriger Absprache
mit dem DLR gestattet.

*This brochure may be reprinted in whole or in
part or otherwise used commercially only by
previous agreement with the DLR.*





Dünenfeld in einem Einschlagskrater
am Argyre-Becken.
*Dune field in an impact crater
at the Argyre basin.*

Das DLR im Überblick

Das DLR ist das nationale Forschungszentrum der Bundesrepublik Deutschland für Luft- und Raumfahrt. Seine umfangreichen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten in Luftfahrt, Raumfahrt, Verkehr und Energie sind in nationale und internationale Kooperationen eingebunden. Über die eigene Forschung hinaus ist das DLR als Raumfahrt-Agentur im Auftrag der Bundesregierung für die Planung und Umsetzung der deutschen Raumfahrtaktivitäten sowie für die internationale Interessenswahrnehmung zuständig. Das DLR fungiert als Dachorganisation für den national größten Projektträger.

In 29 Instituten und Einrichtungen an den dreizehn Standorten Köln (Sitz des Vorstandes), Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Göttingen, Hamburg, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Stuttgart, Trauen und Weilheim beschäftigt das DLR ca. 5.700 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter. Das DLR unterhält Büros in Brüssel, Paris und Washington D.C.

DLR at a Glance

DLR is Germany's national research center for aeronautics and space. Its extensive research and development work in Aeronautics, Space, Transportation and Energy is integrated into national and international cooperative ventures. As Germany's space agency, DLR has been given responsibility for the forward planning and the implementation of the German space program by the German federal government as well as for the international representation of German interests. Furthermore, Germany's largest project-management agency is also part of DLR.

Approximately 5,700 people are employed in DLR's 29 institutes and facilities at thirteen locations in Germany: Koeln (headquarters), Berlin, Bonn, Braunschweig, Bremen, Goettingen, Hamburg, Lampoldshausen, Neustrelitz, Oberpfaffenhofen, Stuttgart, Trauen and Weilheim. DLR also operates offices in Brussels, Paris, and Washington D.C.



**Deutsches Zentrum
für Luft- und Raumfahrt e.V.**

in der Helmholtz-Gemeinschaft

German Aerospace Center

Member of the Helmholtz Association

Institute of Planetary Research

Rutherfordstraße 2

D-12489 Berlin-Adlershof

www.DLR.de