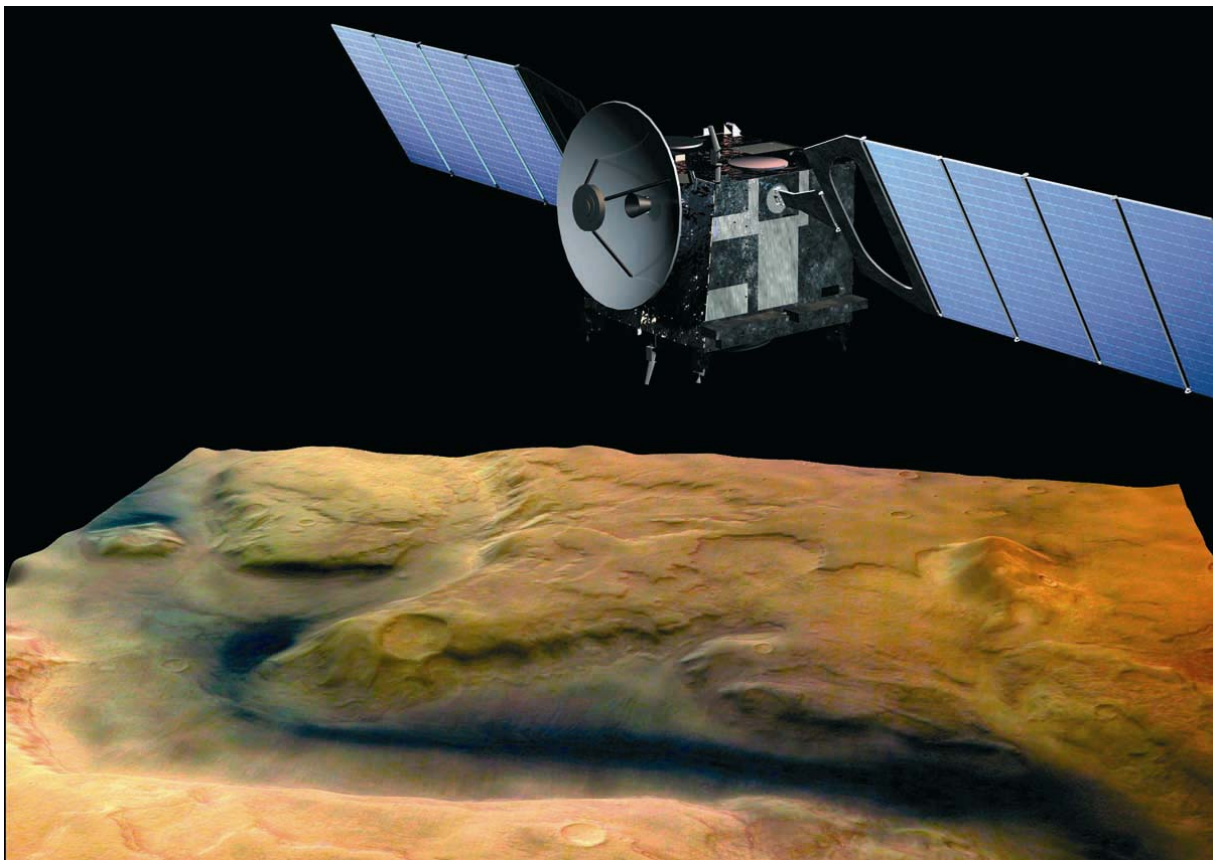


Was der 3-D Blick von Mars Express verrät

Cecilia Scorza

Die Erforschung des roten Planeten hat mit der ersten europäischen Marssonde Mars Express eine Wende erreicht. Die High Resolution Stereo Camera (HRSC) am Bord der Sonde ermöglicht, die Oberfläche von Mars mit einer sehr hohen Auflösung und in Stereosicht (3-D) zu kartographieren. Das Ziel dieser Mission ist, festzustellen, welche Prozesse in der geologischen Entwicklung auf dem Mars gewirkt haben. Anhand dieser Materialien erfahren die Schüler, wie wichtig hochaufgelöste 3-D-Bilder von Planeten sind, wie die HRSC-Kamera funktioniert und wie diese einmaligen 3-D-Aufnahmen vom Mars entstanden sind.

Übersicht der Bezüge im WIS-Beitrag		
Astronomie	Planeten, Astropraxis, Raumfahrt	Mars, Planetenoberflächen, Marsgesicht , Marssonde Mars Express , Stereokamera , Kraterzählung , vergleichende Planetologie
Fächer- verknüpfung	Astro-Geo, Astro-Werken, Astro-Sprache, Astro-Bio, Astro-Ph	Topografie , Kartografie, räumliches Sehen , Stereobilder , 3-D-Brille , englischer Text , Modellbau , Digitalbilder , Lichtgeschwindigkeit
Lehre allgemein	Kompetenzen	Fachspezifische Methodenkompetenzen: Information aus 3-D-Aufnahmen abstrahieren und Interpretieren , Erd- und Marsmorphologie vergleichen Hypothesen zur Entstehung von Gebieten formulieren



Die Sonde Mars Express kartografiert den Mars seit 2003 mit einer sehr hohen Auflösung

Die Erforschung des roten Planeten mit Mars Express

[\(→zurück zum Anfang\)](#)

Als am 16. 11. 1996 der Start der letzten russischen Planetensonde *Mars 96* scheiterte (siehe NASA-Modell rechts), versank im Pazifik vor Bolivien zusammen mit drei anderen europäischen Experimenten die Hochleistungskamera *High Resolution Stereo Camera*, kurz: *HRSC*, die in Deutschland entwickelt wurde. Das war ein großer Verlust, denn in alle drei Instrumente war viel Arbeit und Geld investiert worden.



Jedoch, nach dem Erfolg der ersten Mars Discovery Sonden der NASA in 1997/98 kam die Idee, eine ähnliche Mission in Europa anzupacken. Dabei sollte die Gelegenheit aufgegriffen werden, die schon entwickelten europäischen Instrumente doch noch zum Mars zu bringen. Die ESA übernahm diese Idee, und so wurde 1999 die Sonde Mars Express, die in Rekordzeit gebaut wurde, geboren. Ausschlag gebend hier war die weitgehende Übernahme von Technologien, die für die europäische Kometensonde *Rosetta* entwickelt worden waren.

Die **Sonde Mars Express** (MEX, links unten) ist mit sieben Instrumenten ausgestattet. Damit ist sie in der Lage, wichtige Informationen über die Oberfläche, Zusammensetzung und Struktur des Mars sogar aus einigen Kilometer Tiefe zu gewinnen. Das Ziel der Sonde ist, die Entwicklung von Mars über Merkmale seiner Oberfläche zu erforschen und anhand hoch aufgelöster Bildern die geologische Geschichte des Planeten zu rekonstruieren. Der zweite Schwerpunkt der Mission betrifft die Atmosphärenforschung. Hier untersucht MEX die globale Zirkulation und die Zusammensetzung der Marsatmosphäre. Auch die Wechselwirkung zwischen den oberen Schichten der Atmosphäre mit dem interplanetaren Medium ist Gegenstand der Mission.



Links: Modellbild von Mars Express mit Aufnahme vom Mars (NASA); rechts: die Marsatmosphäre ist hundertmal dünner als die Erdatmosphäre und besteht zu 99 % aus Kohlendioxid (Bild: NASA)

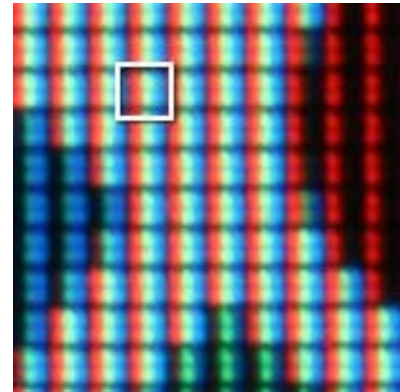
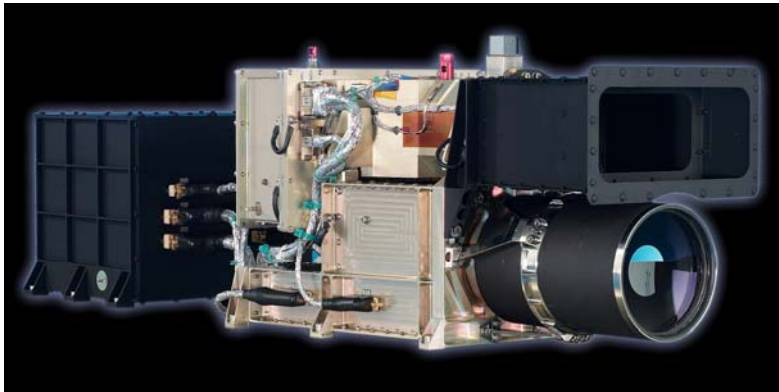
Bau eines Modells der Mars Express-Sonde

Aktivität 1: Mit der Bastel-Vorlage der ESA (siehe PDF-Datei im Materialanhang) kannst Du relativ schnell ein sehr gutes Model vom „MEX“ bauen.

Das scharfe Auge von Mars Express: die Stereokamera HRSC

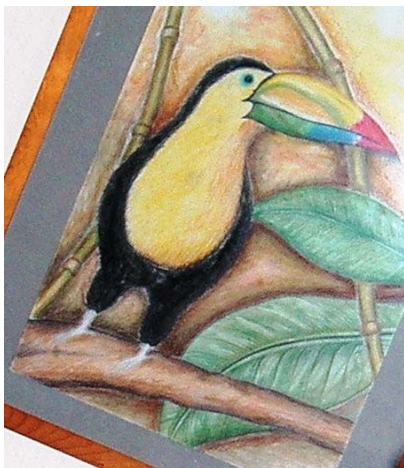
(→[zurück zum Anfang](#))

Die HRSC an Bord von Mars Express ist eine bislang einzigartige Kameraentwicklung in der Planetenforschung. Es ist die erste digitale *Stereokamera*, die hoch aufgelöste Farbbilder der *Marsoberfläche aufnimmt*. Zusätzlich verfügt sie über ein zweites Objektiv (wie eine Lupe, im unteren Bereich der Kamera), die es erlaubt, eine noch höhere Detailauflösung von ausgewählten Gebieten zu erhalten, um Aufnahmen geografisch genau einzuordnen.



Für die Auflösung von Details in **Digitalfotos** ist in der Regel die Größe der Pixel („picture elements“) in der Empfängermatrix entscheidend (und nicht das Auflösungsvermögen des Objektivs). Ab einer bestimmten Vergrößerung werden die Pixel augenfällig (siehe Bild rechts), und Details, die im Bild kleiner als die Pixelgröße sind, „verschwimmen“.

Die HRSC kann den gesamten Planeten mit einer Detailauflösung von *10 Metern* pro Pixel scannen. Ausgewählte Bereiche werden mit Hilfe des unteren Objektivs sogar mit einer Auflösung von *2 Metern* pro Pixel dargestellt.



Um sich eine Vorstellung von dieser Angabe der Detailauflösung zu machen, wollen wir das Foto einer haushaltüblichen Digitalkamera (hier z. B. eine CASIO QV-R40) zum Vergleich heranziehen.

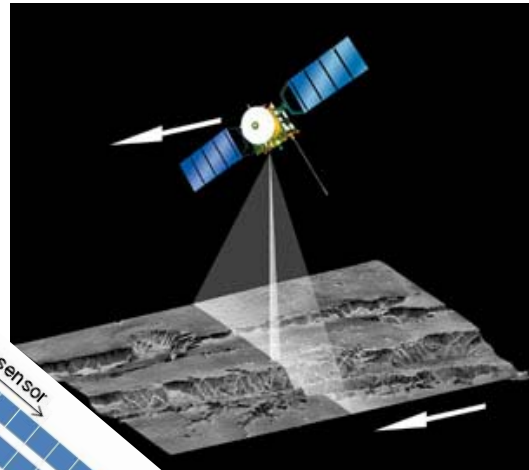
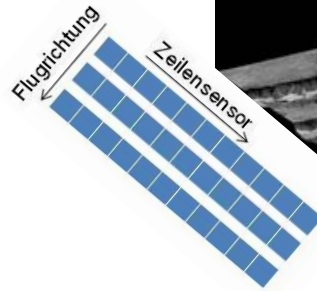
Das linke Foto von der Pastellzeichnung eines Tukans entstand aus einer Entfernung von 2 m. Die Pupille des Vogels hat in der Zeichnung einen Durchmesser von etwa 6 mm. Im Digitalfoto erstreckt sich der

Pupillendurchmesser etwa über 9 Pixel. Aus dem Abstand von 2 m erreicht man mit der CASIO QV-R40 also eine Detailauflösung von 6 mm / 9 bzw. ca. 0,7 mm pro Pixel. Würde sich die CASIO QV-R40 an Bord von Mars Express, also im Abstand von 250 km von der Planetenoberfläche, befinden, wäre die Detailauflösung etwa 83 Meter pro Pixel (250 mal 500 mal 6mm / 9).

Die HRSC Kamera besitzt ein *Zeilensensor*, der 5184 lichtempfindliche Elemente hat (also keinen rechteckigen Sensor wie in unserer digitalen Heimkamera). Die HRSC kann theoretisch beliebig viele Zeilen hintereinander aufnehmen, die Bilder könnten im Prinzip unendlich lang sein. Tatsächlich ist die Größe durch verschiedene Faktoren begrenzt, wie von der Datenmenge, die die Sonde überhaupt zur Erde übertragen kann. In der Realität nimmt die HRSC Bilder auf, die typischerweise zwischen 30.000 und 60.000 Zeilen lang sind.

(→zurück zum Anfang)

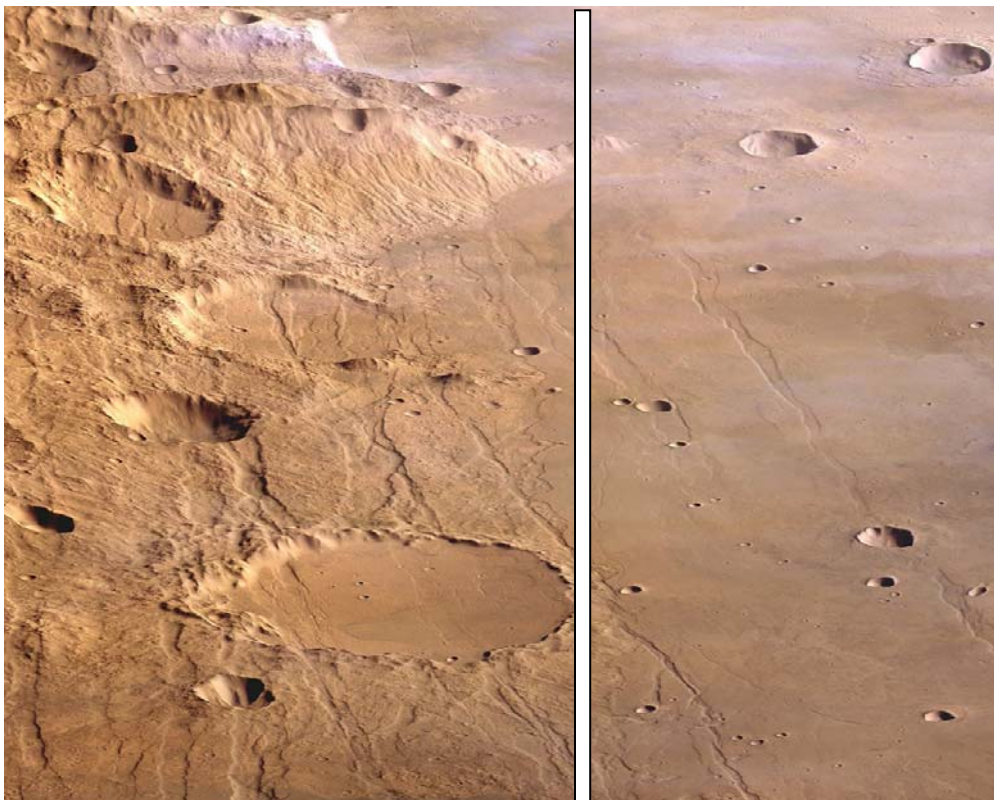
Die HRSC-Kamera bewegt sich an Bord der Sonde über die Oberfläche hinweg. Dabei wird die Oberfläche Zeile für Zeile abgetastet (gescannt, siehe Bild). Dies ähnelt der Arbeitsweise eines Faxgerätes, bei dem der Inhalt auf einem Blatt Papier Zeile für Zeile gescannt und übertragen wird. Der Unterschied zur Funktionsweise der HRSC besteht lediglich darin, dass sich die Kamera (in der Analogie stellt sie das Faxgerät dar) bewegt und nicht die Marsoberfläche (das Blatt Papier).



Krater auf dem Mars zählen

Aktivität 2: Der Anzahl von Kratern in einem Gebiet von Mars gibt Hinweis auf das Alter des Gebietes. Alte Gebiete besitzen viele Krater, die aus einer Epoche vor etwa 4 Milliarden Jahren stammen, in der alle Planeten kurz nach ihrer Bildung von unzähligen Asteroiden getroffen wurden (der so genannte große Bombardement). Gebiete mit wenigen Kratern deuten auf neue Schichten der Oberfläche hin, die nach Lava-Überflutungen entstanden sind.

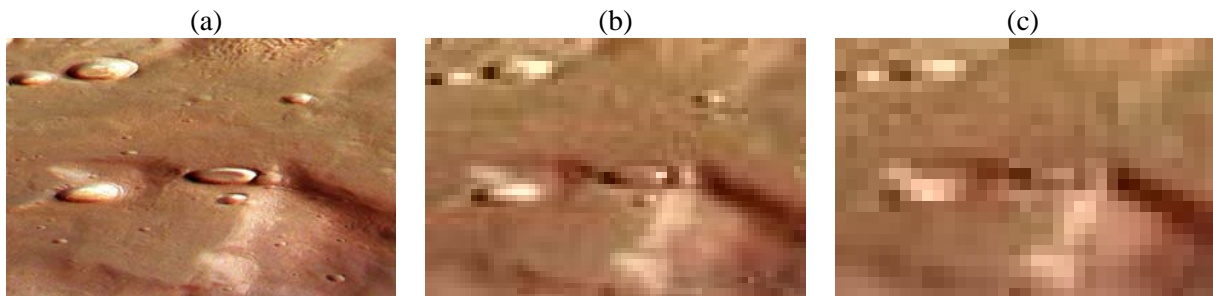
Aufgabe: Zähle in beiden Gebieten im unteren Bild der HRSC-Kamera alle Krater. Beide Bilder haben dieselbe Auflösung. Welches Gebiet ist älter? Was fällt noch auf?



(→zurück zum Anfang)

Die NASA bietet das Projekt „Sei ein Marsianer“ an, indem Du Astronomen beim Kraterzählen in ihrer Marsforschung unterstützen kannst (siehe: www.beamartian.jpl.nasa.gov).

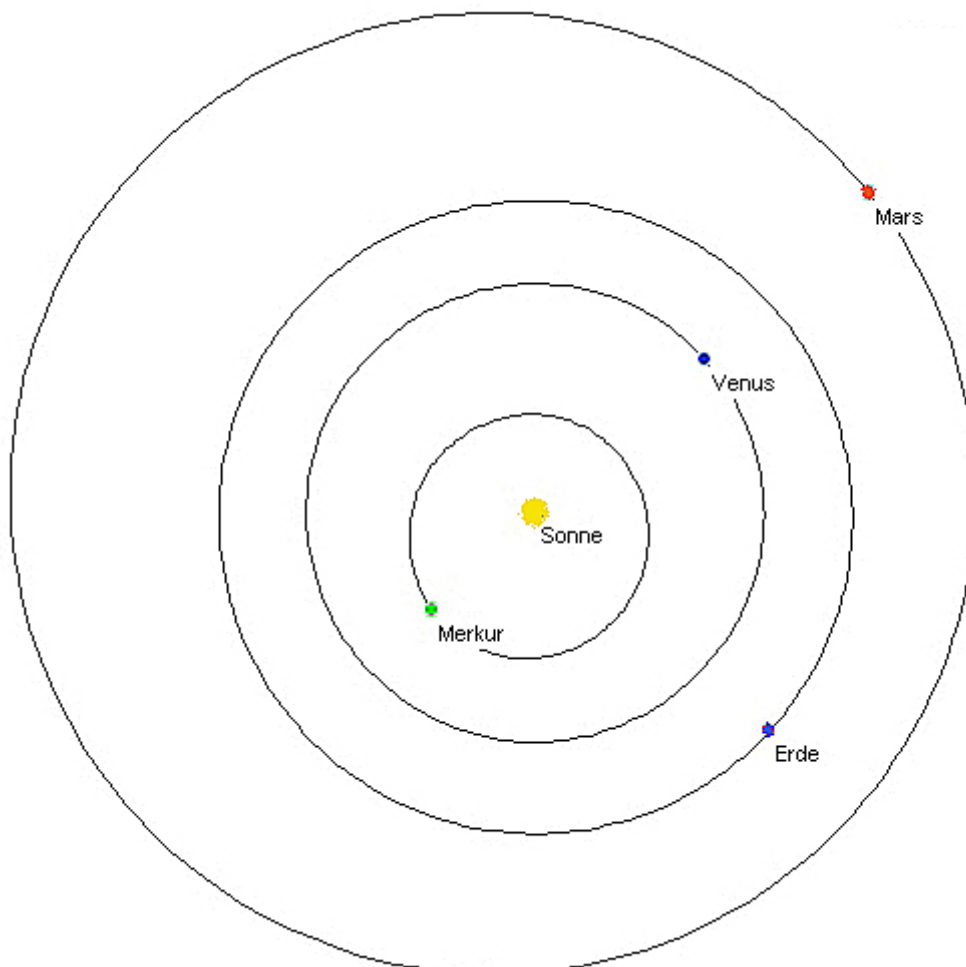
Aktivität 3: Zähle die Krater in den drei Bildern desselben Gebiets des Mars, die von (a) bis (c) eine schlechtere Auflösung haben. Wie viele Krater kannst Du jeweils zählen? Wie kann eine gute oder schlechte Auflösung der Bilder das Zählen von Kratern beeinflussen?



Übertragungsdauer von Mars Express-Bildern zur Erde

Aktivität 4:

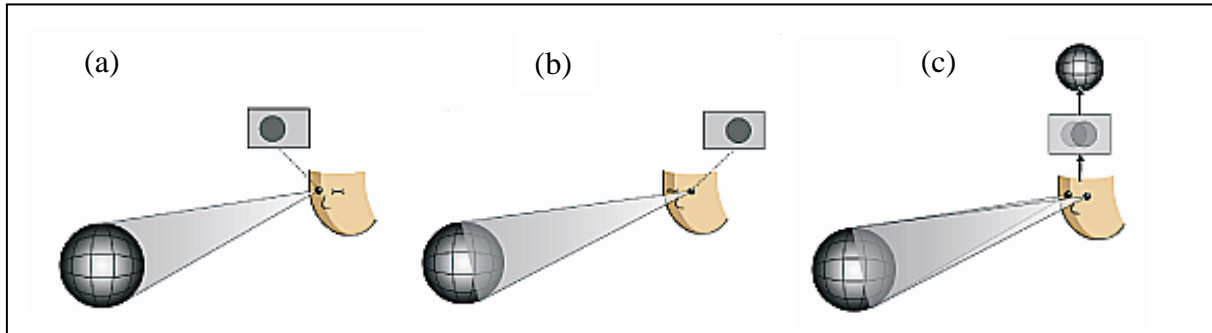
Am 9. August 2009 um 11:59 Uhr hat Mars Express Bilder der HRSC-Kamera zur Erde geschickt. Bestimme anhand der im Bild gezeigten Planetenpositionen am Tag der Übertragung, wie lange diese vom Mars zur Erde dauerte, wissend, dass die mittlere Entfernung Sonne-Erde etwa $149,6 \times 10^6$ km beträgt (Grafik vom Programm AstroViewer, das kostenlos herunter geladen werden kann, siehe www.astroviewer.de).



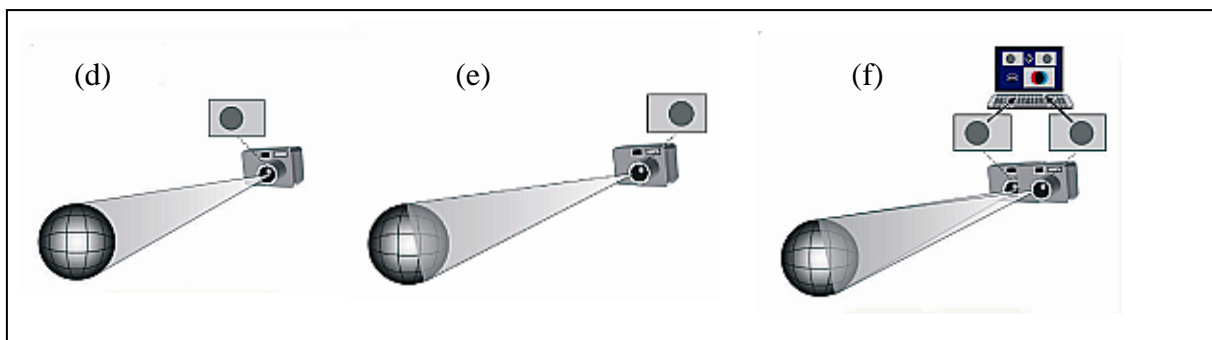
Was ist Stereosicht?

[\(→zurück zum Anfang\)](#)

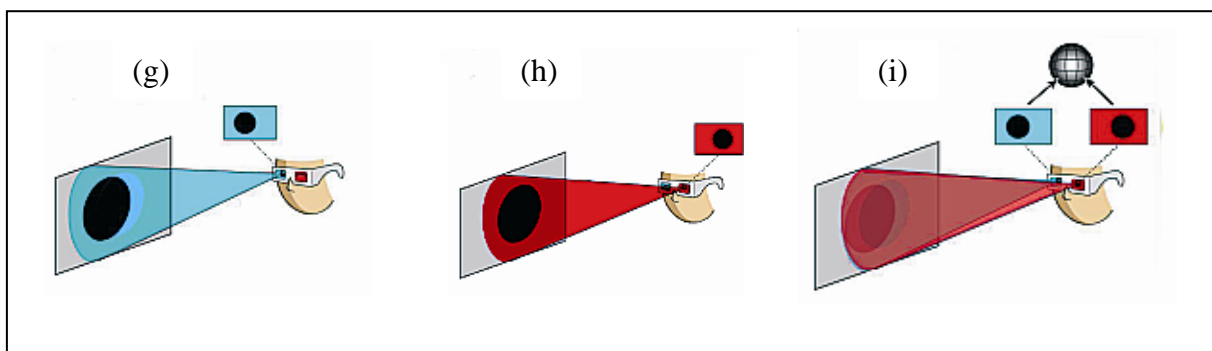
Menschen und Tiere können ihre Umgebung räumlich (in drei Dimensionen) wahrnehmen, weil sie zwei Augen besitzen, die beim Menschen zueinander einen Abstand von ca. 7 cm haben. Dies erlaubt, Gegenstände aus leicht unterschiedlichen Blickwinkeln zu betrachten (siehe (a) und (b)). Das Gehirn verarbeitet die Bilder der beiden Augen zum Eindruck räumlicher Tiefe und Volumen (c).



Künstliche 3-D-Bilder werden wie folgt erzeugt: Mit einer normalen Kamera wird z. B. ein Ball fotografiert (d). Dabei entsteht ein 2-D-Bild, ein „flaches“ Bild ohne räumliche Information. Dann wird die Kamera 7 cm zur Seite verschoben (e) und erneut ein Bild vom Ball aufgenommen. Mittels eines Computers werden beide Bilder verschmolzen (f).

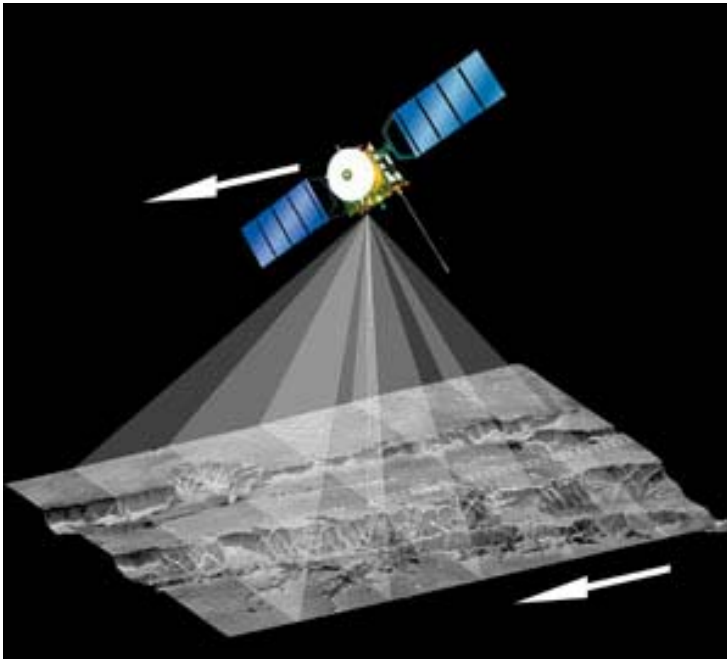


Ein 3-D-Bild enthält also zwei übereinander gelegte, z. B. verschieden farbige Bilder (siehe unten). Mit einer **3-D-Brille** sieht das rechte Auge durch den blauen Farbfilter nur das Bild, das aus der rechten Kamera-Perspektive aufgenommen wurde (g). Und das linke Auge sieht durch den roten Farbfilter entsprechend nur das Bild aus der linken Kamera-Perspektive (h). *Nur wenn diese beiden Bilder im Gehirn zusammengefügt werden, sehen wir ein 3-D-Bild (i).*



(Quelle der Bilder und Erklärungen: www.3d-brillen.de)

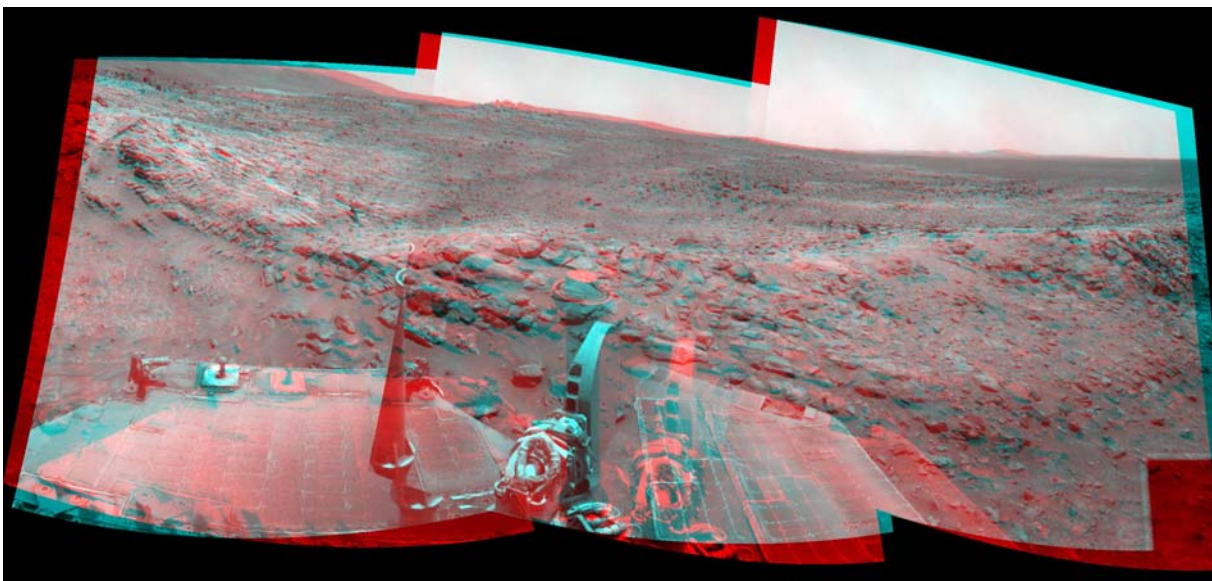
[\(→zurück zum Anfang\)](#)



Die Stereokamera HRSC an Bord vom MEX nimmt die Marsoberfläche sogar unter fünf verschiedenen Blickwinkeln auf. Die Information, die in diesen fünf unterschiedlichen Bildern steckt, kann rechnerisch mit einem Computer in räumliche Information weiterverarbeitet werden. HRSC fotografiert mit fünf Sensorenzeilen: Zwei Zeilen blicken (in Flugrichtung gesehen) schräg nach unten vorne, eine senkrecht nach unten und zwei schräg nach unten hinten. Dadurch wird jeder Punkt der Oberfläche nach und nach unter fünf verschiedenen Blickwinkeln fotografiert (Bild links, DLR).

Räumliches Sehen mit der 3-D-Brille

Aktivität 5: Betrachte mit einer **3-D-Brille** (erhältlich bei www.3d-brillen.de) das untere Bild einer Marslandschaft, das vom Marsrover Opportunity aufgenommen wurde. Schließe erst das linke Auge und dann das rechte Auge. Welche Teile von Opportunity sind noch zu sehen? Metallische Teile des Rovers (Antennen) sind im unteren Bereich zu sehen. Kannst Du anhand dieses Bildes die Funktion der Filter in der 3-D-Brille und den 3-D-Effekt erklären?



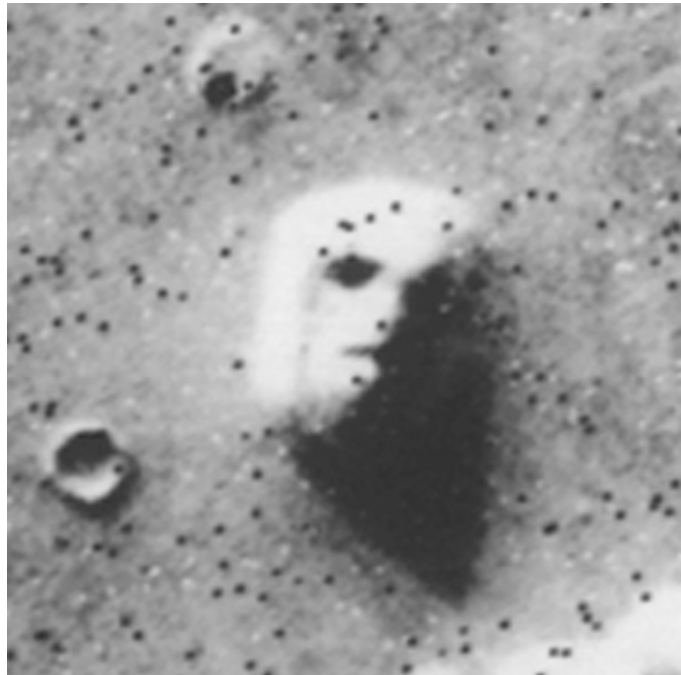
[\(→zurück zum Anfang\)](#)

Warum braucht man für Planetenforschung gut aufgelöste 3-D-Bilder?

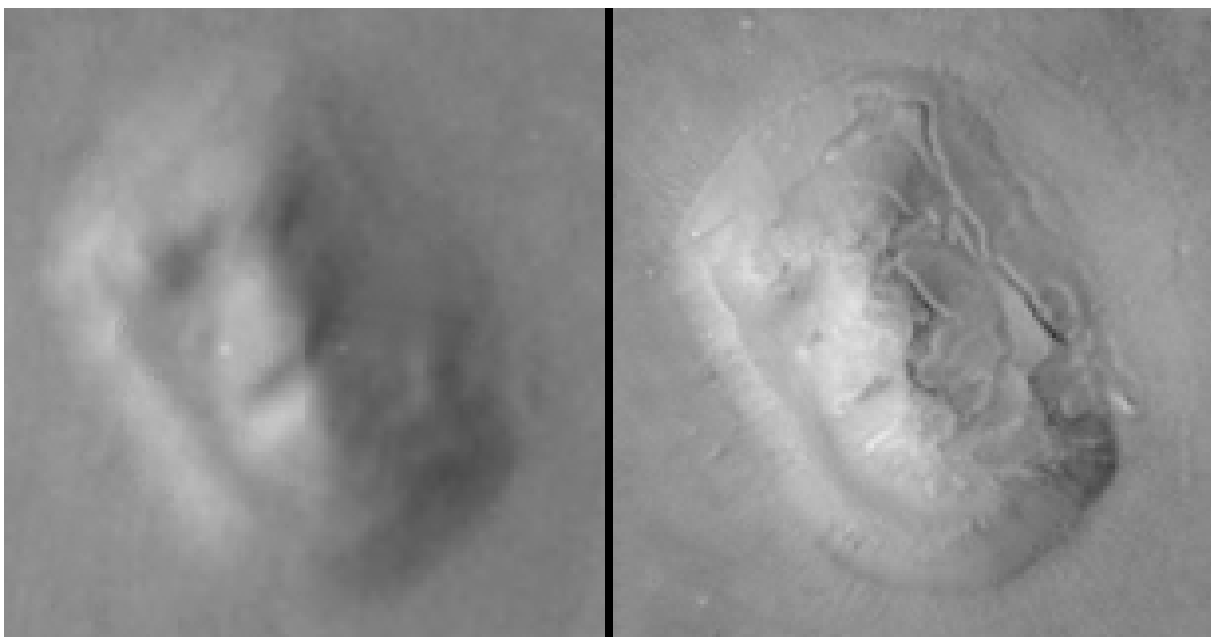
Die Untersuchung von Oberflächenstrukturen von Planeten mit Instrumenten wie der HRSC-Kamera erlaubt, das Relief der Marsoberfläche (Marsmorphografie) und die geologischen Prozesse zu erforschen, die diese im Laufe der Zeit modelliert haben (Marsmorphogenese). Unter anderem erhält man dreidimensionale Informationen über die Querschnitte von Tälern und das Volumen von Bergen. Bislang gab es in der Planetenforschung noch nie ein Stereokameraexperiment. Es gibt zwar viele Bilder, die die gleichen Gebiete unter verschiedenen Blickwinkeln abbilden, aber die Ergebnisse waren bisher auf sehr kleine Gebiete beschränkt.

Wie wichtig genaue Beobachtungen sind, zeigt uns eine Geschichte der Marsforschung aus den 1970er Jahren, die für großen Wirbel in der Presse sorgte.

Damals ging es um ein am 25. Juli 1976 vom Viking-1-Orbiter aufgenommenes Bild (rechts), das ein „Gesichts“ in der Cydonia-Region auf dem Mars zeigte. Die Forscher betrachteten das Bild als nichts anderes als ein Licht-Schatten-Spiel, Ufologen jedoch waren überzeugt, dass intelligente Wesen, die auf dem Mars lebten oder dort zu Besuch waren, das mysteriöse Antlitz geschaffen hätten!



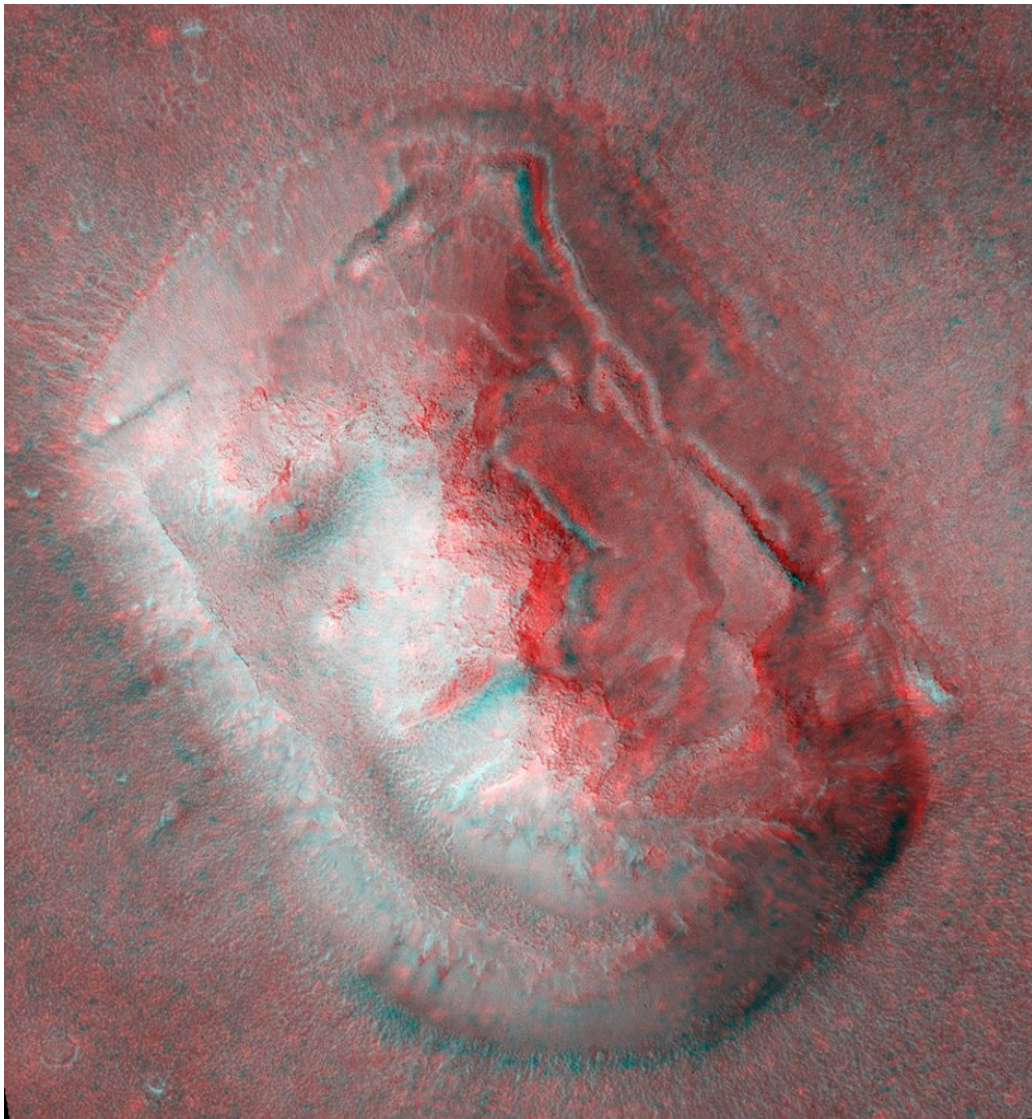
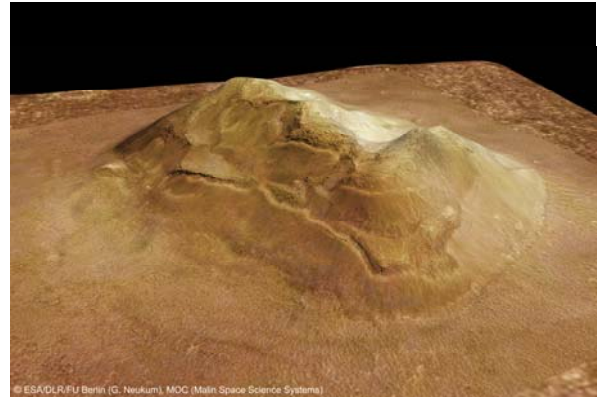
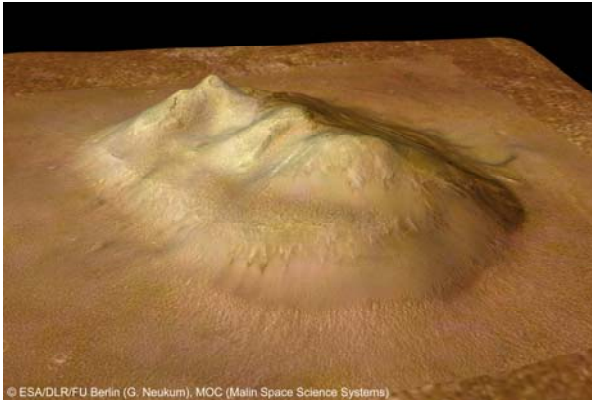
Kurz danach zeigte eine neue Aufnahme des Viking-Orbiters, dass allein der Winkel, unter dem das Sonnenlicht auf den Bergrücken einfällt, das Gesicht „produziert“ hatte (Bild unten links). 2001 hat die Sonde Mars Global Surveyor noch einmal diese Bergformation, die 3 km Länge hat, mit einer höheren Auflösung fotografiert (Bild unten rechts).



[\(→zurück zum Anfang\)](#)

Die „Verwandlung“ dieser Bergformation geht weiter. Die HRSC-Kamera hat die unten gezeigten Bilder aufgenommen (Bilder: Uni-Berlin, Neukum).

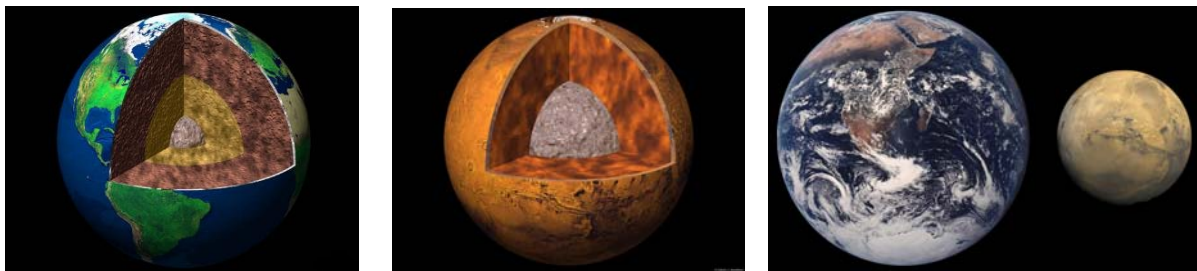
Aktivität 6: Nimm Deine 3-D-Brille und beobachte damit das 3-D-Bild des „Marsgesichtes“ unten. Beschreibe Deine Beobachtungen, wenn Du nur jeweils mit einem Auge durch die Filter Deiner 3-D-Brille schaust. Siehst Du noch das Gesicht?



[\(→zurück zum Anfang\)](#)

Erde und Mars im Vergleich

Von allen Planeten des Sonnensystems ist Mars der erdähnlichste. Als erdähnliche Planeten werden in der Astronomie und Planetologie diejenigen Körper im Sonnensystem bezeichnet, die in ihrem Aufbau der Erde gleichen. Sie bestehen vollständig oder fast vollständig aus festen Bestandteilen (sogenannte Gesteinsplaneten) und haben einen Schichtenaufbau. Im Zentrum befindet sich ein Eisenkern, darüber eine dicke Schicht, der so genannte Mantel, und als äußerste Schicht eine dünne Kruste. In einigen Fällen schließt sich über der Kruste eine Atmosphäre an. Bei der Erde liegt noch die Hydrosphäre (Ozeane, Seen) dazwischen. Nur vier Planeten des inneren Sonnensystems gehören zur Gruppe der terrestrischen Planeten: Merkur, Venus, Erde und Mars.



Bilder links und Mitte: Modelle, die das Innere von Erde und Mars zeigen (Kern, Mantel und Kruste). Rechts: Aufnahmen von Erde und Mars im richtigen Größenverhältnis.

Aktivität 7: Ergänze die Angaben der Tabelle (achte auf die Einheiten).

Parameter	Mars		Erde
	Absolut	Relativ (Mars/Erde)	
Masse	$0,64185 \cdot 10^{24} \text{ kg}$		$5,9737 \cdot 10^{24} \text{ kg}$
Volumen	$16,318 \cdot 10^{10} \text{ km}^3$	0,151	
Mittlerer Radius		0,532	6371 km
Mittlere Dichte	g/cm^3		g/cm^3
Tageslänge		1,027	24 h
Jahreslänge		1,881	365,256
Mittlere Entfernung zur Sonne		1,524	$149,6 \cdot 10^6 \text{ km}$

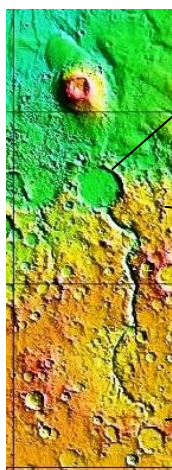
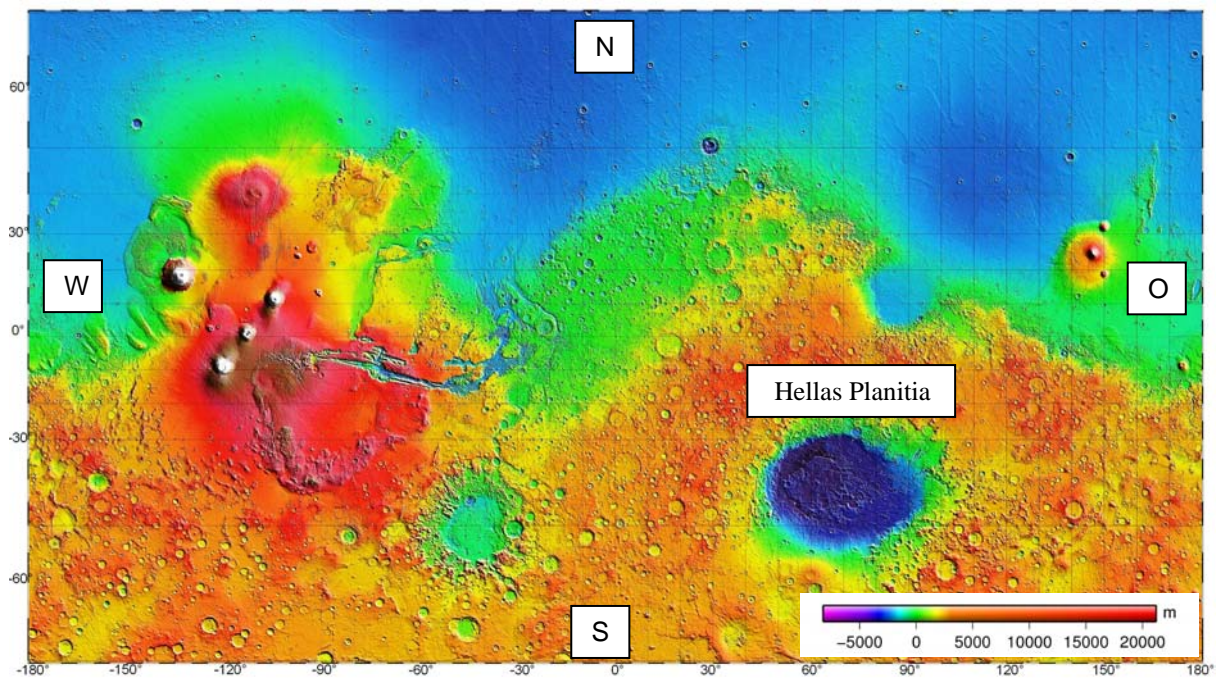
Wir suchen die Ma'adim-Region

(→zurück zum Anfang)

Im WIS-Beitrag „Spuren auf dem Mars“ zum SuW-Artikel 8/2009, S. 40-51, finden Sie zum Thema „Phönix“, zusätzliche Materialien zur Marskartografie im Allgemeinen. In diesem Abschnitt werden wir uns jedoch mit einer bestimmten Region der Marsoberfläche beschäftigen, mit dem Ma'adim Vallis, das sich östlich vom Tiefland Hellas Planitia auf dem Mars befindet.

Aktivität 8: Betrachte die unten befindliche farbig kodierte Höhen-Karte des Mars.

- Beschreibe die südliche und die nördliche Region der Karte anhand der Höhen- und Tiefen-Skala (siehe rechte untere Ecke des Bildes). Worin unterscheiden sie sich?
- Suche die Ma'adim-Region mit den Koordinaten $+14,5^\circ$ Süd und 176° Ost auf der Karte auf und markiere sie.
- Bestimme die Länge der Ma'adi-Region (siehe Ausschnitt der Karte links unten), wissend, dass der Gusev-Krater einen Durchmesser von 166 km hat. Vergleiche die Ma'adim-Region mit dem Grand Canyon auf der Erde (450 km lange Schlucht).

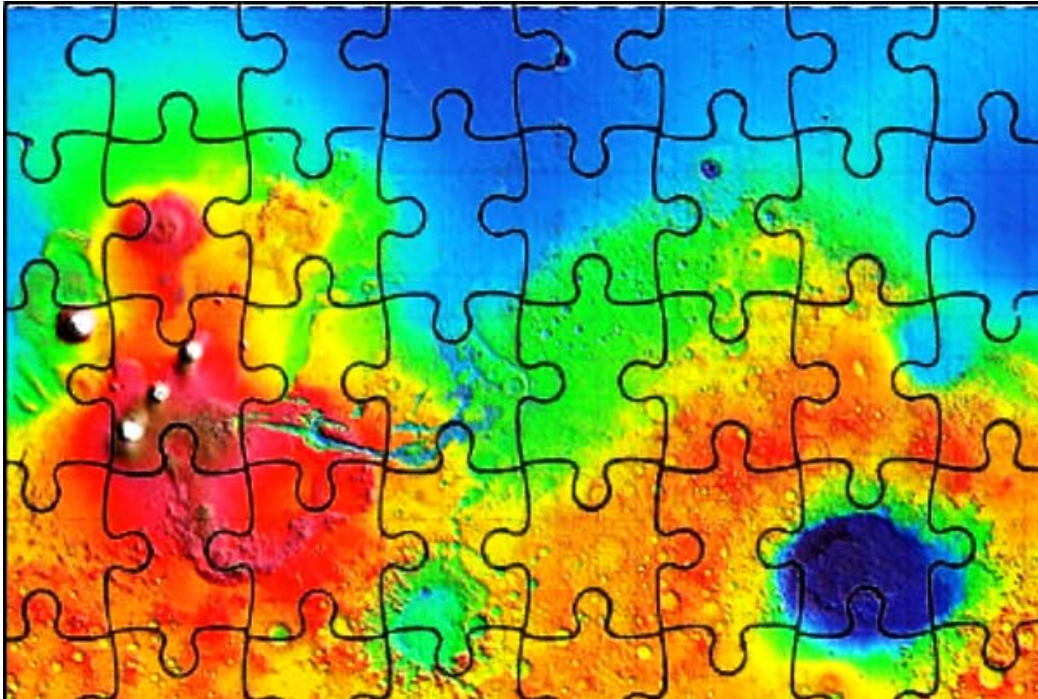


Gusev Krater,
Landeplatz des
Rovers Spirit



[\(→zurück zum Anfang\)](#)

Du kannst Dich mit der Marsoberfläche vertraut machen, indem Du ein Puzzle von der Marskarte zusammensetzt (für 6,90 Euro bei http://de.personello.com/shop/de/showdesigner_puzzle.php).



Lösungen

Aktivität 2:

Das Gebiet auf der linken Seite ist älter, weil es mehr Krater (vor allem große Krater) aufweist. Das Gebiet auf der rechten Seite hat eine ziemlich glatte Oberfläche und könnte nach einer Lavaüberflutung entstanden sein.

Aktivität 3:

Die Auflösung der Bilder beeinflusst die Anzahl der sichtbaren Krater (kleine und mittelgroße Krater werden nicht mehr aufgelöst).

Aktivität 4:

Die Übertragung von Daten vom Mars zur Erde dauerte 14,2 min (854,6 s) bei einer Entfernung von $256,4 \cdot 10^6$ km.

Aktivität 5:

Das linke Auge sieht durch das rote Filter nur den grünen Anteil des Bildes (die roten werden vom Filter absorbiert). Das Gegenteil passiert mit dem rechten Auge, das nur die roten Anteile sieht. Die Filter bewirken, dass jedes Auge nur eines der Doppelbilder sehen kann (Stereosicht). Unser Gehirn verarbeitet beide und erzeugt die räumliche Wahrnehmung.

Aktivität 6:

Die sichtbaren Details ändern sich, je nach dem, durch welchen Filter man sieht. Ein Bild, das einem Gesicht ähnelt, erscheint, wenn man durch den roten Filter schaut, welcher das grüne Bild sichtbar werden lässt. Das rote Bild wurde unter einem anderen Blickwinkel aufgenommen, bei dem keine Gesichtsform (durch den grünen Filter hindurch) erkennbar ist.

Aktivität 7:

Parameter	Mars		Erde
	Absolut	Relativ (Mars/Erde)	
Masse	$0,64185 \cdot 10^{24} \text{ kg}$	0,107	$5,9737 \cdot 10^{24} \text{ kg}$
Volumen	$16,318 \cdot 10^{10} \text{ km}^3$	0,151	$2,4 \cdot 10^{10} \text{ km}^3$
Mittlerer Radius	3390 km	0,532	6371 km
Mittlere Dichte	$3,933 \text{ g/cm}^3$	0,713	$5,515 \text{ g/cm}^3$
Tageslänge	24 h 40 min (=1 sol)	1,027	24 h
Jahreslänge	686,98 d (=669 sol)	1,881	365,256
Mittlere Entfernung zur Sonne	$227,94 \cdot 10^6 \text{ km}$	1,524	$149,6 \cdot 10^6 \text{ km}$

Aktivität 8:

a)

Vor allem unterscheiden sich beide Hemisphären in der Höhe. Mars ist in der nördlichen Hemisphäre wesentlich abgeplatteter als in der südlichen Hälfte, hat von daher die Form einer Birne.

c)

Das Ma'adim Vallis ist doppelt so lang wie der Grand Canyon!

Quellen

- Die Geologie des Mars: www.uni-bonn.de/~uzsrcj/index/Geologie/Arbeiten/Mars/Mars-Referat.htm
- <http://www.google.com/mars>
- Mars Express DLR Website : http://www.dlr.de/pf/desktopdefault.aspx/tabid-325/1109_read-1806/
- ESA Mars Express Website:
http://www.esa.int/SPECIALS/Mars_Express/SEMQU2E3GXF_0.html#subhead2
- http://www.raumfahrer.net/raumfahrt/marsexpress/mex_02.shtml
- 3-D-Brille: www.3d-brillen.de
- Puzzle: http://de.personello.com/shop/de/showdesigner_puzzle.php