

## HRSC – Die »High Resolution Stereo Camera« auf Mars Express

JÖRG ALBERTZ, Berlin; GERHARD NEUKUM und das HRSC-Co-Investigator Team

**Keywords:** photogrammetry, cartography, High Resolution Stereo Camera, Mars, Mars Express Mission

**Zusammenfassung:** Die *High Resolution Stereo Camera* (HRSC) ist eines der zentralen Instrumente an Bord der europäischen Raumfahrtmission *Mars Express*. Die Kamera ist u. a. für photogrammetrische und kartographische Zwecke entwickelt worden. Mit ihr wird die Planetenoberfläche systematisch in Stereo und in Farbe mit hoher Auflösung aufgenommen. Die gewonnenen Bilddaten dienen der Ableitung präziser Digitaler Geländemodelle und farbiger Orthobilder sowie der Schaffung eines neuen topographischen Kartenwerkes im Maßstab 1:200 000. Für viele Gebiete der Planetenforschung stellen die Daten eine nahezu unerschöpfliche Informationsquelle dar.

**Summary:** *HRSC – The High Resolution Stereo Camera on Mars Express*. The HRSC is a central instrument of the *Mars Express Mission*. The camera system was designed under photogrammetric and cartographic aspects. The Martian surface is systematically imaged in stereo and in color with high resolution. Thus, photogrammetric processing of the acquired image data yields precise Digital Terrain Models and color ortho-images, and a new large-scale topographic map series in 1:200 000 can be generated. Furthermore the images provide a tremendous amount of information for geoscientific interpretation and atmospheric studies as well.

---

### 1 Einleitung

Seit Januar 2004 umkreist die europäische Raumsonde *Mars Express* den Roten Planeten. Sie hat sieben wissenschaftliche Experimente zur Erforschung des Planeten Mars und seiner Atmosphäre an Bord. Eine herausragende Stellung nimmt die *High Resolution Stereo Camera* (HRSC), ein deutscher Missionsbeitrag, mit dem eine neue Ära der Mars-Forschung eingeleitet wird (NEUKUM et al. 2004). Das Kamerasystem ist als erstes speziell unter photogrammetrischen und kartographischen Gesichtspunkten konzipiert worden. Die HRSC liefert multispektrale und Mehrfachstereo-Bilddaten der Marsoberfläche, welche die Ableitung präziser Geländemodelle und die Erstellung eines großmaßstäbigen Kartenwerkes ermöglichen.

Die Leitung des Kamera-Projektes *HRSC on Mars Express* liegt bei Professor Dr. GER-

HARD NEUKUM (Freie Universität Berlin) als *Principal Investigator*. Außer ihm sind über 40 Wissenschaftler verschiedener Disziplinen aus 10 Ländern als Co-Investigatoren mit einer Vielzahl von Mitarbeitern beteiligt. Sie bilden mehrere Arbeitsgruppen mit unterschiedlichen wissenschaftliche Zielsetzungen, nämlich für Photogrammetrie/Kartographie, Geowissenschaften, Spektrophotometrie und Atmosphäre.

### 2 Die »High Resolution Stereo Camera« (HRSC)

Die HRSC war ursprünglich als deutscher Beitrag zu der russischen Raumfahrtmission *Mars'96* entwickelt worden. Nach dem Scheitern dieser Mission im November 1996 wurde die Kamera mit großem Erfolg in Flugzeugmissionen eingesetzt (WEWEL et al. 1998). Die am 2. Juni 2003 gestartete Mission *Mars Express* trug ein technisch leicht



**Abb. 1:** Die HRSC mit dem *Super Resolution Channel* (SRC).

modifiziertes Kamerasystem zum Mars und brachte es in eine Umlaufbahn, von der aus die HRSC seit Januar 2004 Bilddaten der Marsoberfläche aufnimmt.

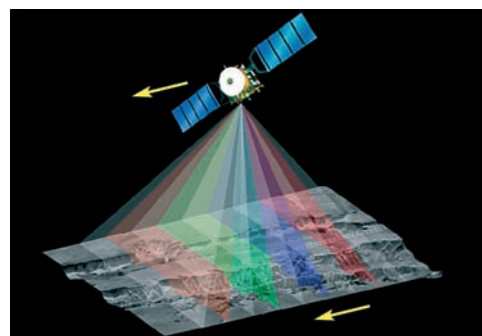
Die HRSC (Abb. 1) ist eine zeilenweise arbeitende Kamera, die für multispektrale und stereoskopische Aufnahme von Bilddaten konzipiert ist. In der Bildebene des Objektivs mit 175 mm Brennweite sind 9 CCD-Zeilensensoren parallel zueinander und quer zur Flugrichtung angeordnet. Die Datenaufnahme erfolgt nach dem Scanner-Prinzip, d. h. durch die Anordnung der Sensorzeilen wird während der Vorwärtsbewegung der Raumsonde ein Geländestreifen Zeile für Zeile aufgenommen. Jedes Flächenelement der Marsoberfläche wird dabei unter 9 verschiedenen Blickwinkeln erfasst (Abb. 2). Für die stereophotogrammetrische Auswertung geeignete panchromatische Bilddaten werden unter den Neigungswinkeln  $+18,9^\circ$ ,  $+12,8^\circ$ ,  $0^\circ$ ,  $-12,8^\circ$  und  $-18,9^\circ$  aufgezeichnet. Die weiteren 4 Kanäle beobachten die Marsoberfläche unter anderen Neigungen in den Spektralbereichen Blau, Grün, Rot und Nahes Infrarot. Jede Bildzeile hat 5184 aktive Pixel.

Erweitert wurde das ursprüngliche Kamerasystem durch den *Super Resolution Channel* (SRC). Dies ist eine langbrennweitige zusätzliche Kamerakomponente mit einem flächigen Detektor-Array von  $1024 \times 1032$  Pixeln. Sie kann als »Lupe« dienen und liefert in der Mitte der HRSC-Streifen kleine Bildausschnitte mit etwa fünffach höherer nomineller Auflösung.

### 3 Datenaufnahme

Die Aufnahme eines Streifens der Marsoberfläche ist schematisch in Abb. 2 dargestellt. Die Aufnahmemöglichkeiten werden durch die stark elliptische Bahn von Mars Express geprägt. Die Flughöhe über der Planetenoberfläche schwankt zwischen etwa 260 km im marsnächsten Punkt (Perizentrum) und etwa 11 000 km. Die höchste Bodenauflösung liegt dann um 10 bis 12 m, so dass in einer Bildzeile ein fast 60 km breiter Geländestreifen aufgezeichnet wird. Bei zunehmendem Abstand vom Perizentrum nimmt die Bodenauflösung ab, und die Streifenbreite wächst entsprechend an. Die Länge eines Bildstreifens hängt u. a. von der Datenspeicher- und Übertragungskapazität ab, beträgt jedoch mindestens 300 km und erreichte bisher bis zu 3700 km. Die Möglichkeiten der Datengewinnung werden außerdem von den jahreszeitlich wechselnden Beleuchtungsverhältnissen und den atmosphärischen Bedingungen (z. B. Staubstürme) bestimmt. In seltenen Fällen können auch die Mars-Monde erfasst werden (GIESE et al. 2005).

Während der Aufnahme müssen die Bilddaten der HRSC komprimiert und an Bord zwischengespeichert werden. Zur Reduktion der Datenmengen können verschiedene Aufnahmemodi gefahren werden. Häufig wird der nadirwärts gerichtete Kanal mit voller Auflösung aufgezeichnet, während die anderen Kanäle mit etwas niedrigerer



**Abb. 2:** Schema der Datenaufnahme mit der HRSC in 9 Zeilen unter verschiedenen Neigungswinkeln.

Auflösung betrieben werden. Die Übertragung der gespeicherten Daten zu Bodenstationen erfolgt während der marsfernen Phasen der Umlaufbahn in Abstimmung mit den Erfordernissen der anderen wissenschaftlichen Experimente.

#### 4 Verarbeitung der HRSC-Bilddaten

Zur Prozessierung der HRSC-Daten wurde ein komplexes Verarbeitungssystem aufgebaut (SCHOLTEN et al. 2005). Bei der Weiterentwicklung der Verarbeitungsmethoden und der Erstellung hochwertiger photogrammetrisch-kartographischer Produkte wirken das DLR sowie die entsprechenden Arbeitsgruppen der Co-Investigatoren zusammen. Die Abb. 3 gibt einen schematischen Überblick. Daraus wird deutlich, dass die Verarbeitung stufenweise erfolgt und zu Ergebnissen verschiedener Art und unterschiedlicher Qualität führt.

Als geometrische Referenz dienen die von der *Internationalen Astronomischen Union* (IAU) zuletzt angenommenen Planetenkonstanten (SEIDELMANN et al. 2002), die für den Mars ein Rotationsellipsoid mit den Halb-

achsen 3396,19 km und 3376,20 km festlegen. Eine wichtige Grundlage ist außerdem das aus den Messungen des *Mars Orbiter Laser Altimeter* (MOLA) abgeleitete Oberflächenmodell des Planeten, welches als Initial-Topographie für die HRSC-Datenverarbeitung dient. Zur schrittweisen Verfeinerung der Ergebnisse werden u. a. Methoden der photogrammetrischen Bündeltriangulation (SCHMIDT et al. 2005, SPIEGEL et al. 2005), Shape-from-Shading (DORRER et al. 2005) sowie Klassifikationsmethoden (ATTWENGER et al. 2005) eingesetzt.

Die hoch aufgelösten Bilddaten der HRSC mit 5 Stereokanälen ermöglichen die genaue Punktbestimmung durch Mehrfachkorrelation und damit die Gewinnung qualitativ hochwertiger Digitaler Geländemodelle (GWINNER et al. 2005). Damit werden anschließend farbige Orthobilder und Bildmosaik abgeleitet, die vielfältige wissenschaftliche Interpretationen sowie die Schaffung eines neuen topographischen Kartenwerks ermöglichen.

Das kartographische Hauptprodukt ist die *Topographic Image Map Mars 1:200 000*, das erste großmaßstäbige Kartenwerk des

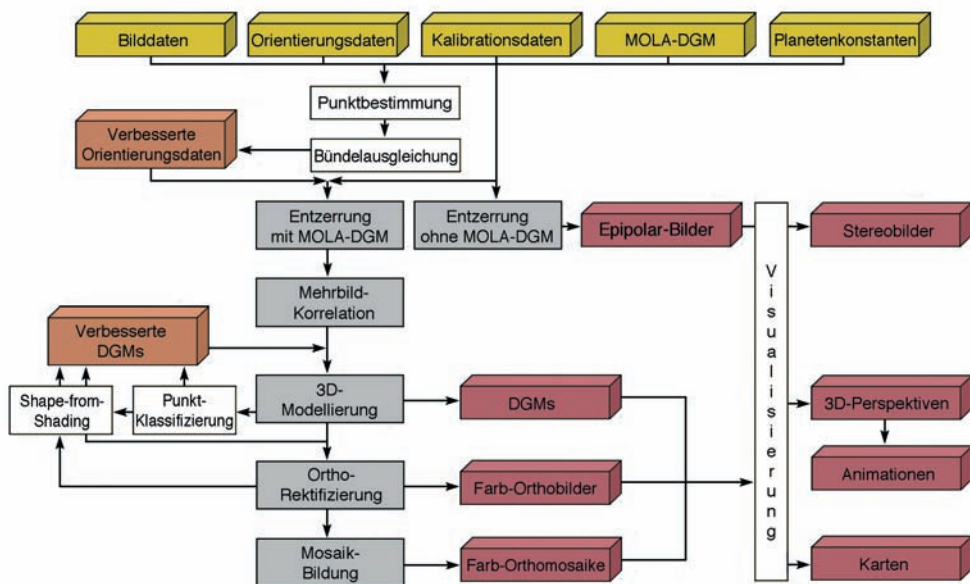


Abb. 3: Schematische Übersicht über die photogrammetrische Verarbeitung der HRSC-Daten von Mars Express (nach SCHOLTEN et al. 2004).

Planeten (LEHMANN et al. 2005). Zur Herstellung der Karten wurde das Software-Paket *Planetary Image Mapper* (PIMap) entwickelt, mit dem alle Bestandteile einer Karte automatisch generiert werden können (GEHRKE et al. 2005).

Die beteiligten Wissenschaftler haben Zugriff auf die Daten des Experiments über das an der Technischen Universität Wien eingerichtete *Topographische Mars Informationssystem* (TMIS) (DORNINGER et al. 2005).

Für die allgemeine Nutzung werden sechs Monate nach der Aufzeichnung die radiometrisch kalibrierten Rohdaten über das *Planetary Science Data Archive* (PSA) der ESA verfügbar gemacht (ESA 2005). Dort ist auch der Zugriff auf Softwarekomponenten möglich, die für die weitere Verarbeitung durch interessierte Wissenschaftler genutzt werden können.

## 5 Ausblick

Die Ergebnisse des Kameraexperiments *HRSC on Mars Express* erweitern die wissenschaftlichen Kenntnisse über den Planeten in reichem Maße. Die abgeleiteten DGMs und Orthobilder sowie das neue Kartenwerk *Topographic Image Map Mars 1:200 000* werden eine wichtige Grundlage für die künftige Mars-Forschung sein.

## Literatur

- ALBERTZ, J. et al., 2004: Digital Cartography with HRSC on Mars Express. – Internat. Arch. f. Photogrammetry and Remote Sensing **35**, B4: 869–874.
- ATTWENGER, M. et al., 2005: Klassifikation von HRSC-Objektpunkten zur Generierung hochwertiger Geländemodelle der Marsoberfläche. – PFG **2005** (5): 395–402.
- DORNINGER, H., 2005: Das „Topographische Mars Informationssystem“ (TMIS) – Konzept und Realisierung eines Systems zur Verwaltung planetenweiter Bild- und Topographiedaten. – PFG **2005** (5): 409–415.
- DORRER, E. et al., 2005: Verbesserung räumlicher Daten durch „Shape-from-Shading“. – PFG **2005** (5): 403–408.
- ESA, 2005: <http://www.rssd.esa.int/index.php?project=PSA>.
- GEHRKE, S. et al., 2005: Das kartographische Software-Paket „Planetary Image Mapper“ (PIMap). – PFG **2005** (5): 417–422.
- GIESE, B. et al., 2005: Ein hochauflösendes digitales Oberflächenmodell des Marsmondes Phobos. – PFG **2005** (5): 435–440.
- GWINNER, K. et al., 2005: Hoch auflösende Digitale Geländemodelle auf der Grundlage von Mars Express HRSC-Daten. – PFG **2005** (5): 387–394.
- LEHMANN, H. et al., 2005: Großmaßstäbige topographische und thematische Mars-Karten. – PFG **2005** (5): 423–428.
- NEUKUM, G. et al., 2004: The High Resolution Stereo Camera of Mars Express. – ESA Special Publication SP-1240.
- SCHMIDT, R. et al., 2005: Automatische Bestimmung von Verknüpfungspunkten in HRSC-Bildern der Mars Express Mission. – PFG **2005** (5): 373–379.
- SCHOLTEN, F. et al., 2004: HRSC auf Mars Express – Photogrammetrische Datenverarbeitung im planetaren Umfeld. – Publikationen der DGPF **13**: 467–474.
- SCHOLTEN, F. et al., 2005: Von Rohdaten aus dem Mars Express Orbit zu Digitalen Geländemodellen und Orthobildern – Operationelle Verarbeitung von HRSC-Daten. – PFG **2005** (5): 365–372.
- SEIDELMANN, P.K. et al., 2002: Report of the IAU/ IAG Working Group on Cartographic Coordinates and Rotational Elements of the Planets and Satellites, 2000. – Celestial Mechanics and Dynamical Astronomy **82**: 83–110.
- SPIEGEL, M. et al., 2005: Bündelausgleichung von HRSC-Bilddaten mit Mars Observer Laser Altimeter-Daten als Passinformation. – PFG **2005** (5): 381–386.
- WEWEL, F. et al., 1998: Digitale Luftbildaufnahme mit der HRSC – Ein Schritt in die Zukunft der Photogrammetrie. – PFG **1998** (5): 317–332.

### Anschriften der Autoren:

Prof. Dr.-Ing. JÖRG ALBERTZ  
Technische Universität Berlin, Institut für Geodäsie und Geoinformationstechnik, Sekr. H 12  
Straße des 17. Juni 135, D-10623 Berlin  
e-mail: albertz@fpk.tu-berlin.de

Prof. Dr. GERHARD NEUKUM  
Freie Universität Berlin  
Malteserstraße 74–100, D-12249 Berlin  
e-mail: gneukum@zedat.fu-berlin.de

Manuskript eingereicht: Juni 2005  
Angenommen: Juli 2005