

Hochauflösende Digitale Geländemodelle der Marsoberfläche auf der Grundlage von Mars Express HRSC Daten

K. GWINNER¹, F. SCHOLTEN¹, M. SPIEGEL², R. SCHMIDT³, B. GIESE¹, J. OBERST¹, R. JAUMANN¹, G. NEUKUM⁴, HRSC CO-INVESTIGATOR TEAM

Zusammenfassung: Die Oberflächenrekonstruktion aus HRSC-Stereodaten unterliegt veränderlichen Einflussfaktoren, die mit Eigenschaften des Aufnahmesystems, der Marsatmosphäre sowie der Marsoberfläche selbst verknüpft sind. Adaptive Verarbeitungskomponenten und zuverlässige Qualitätsparameter für die Kontrolle der Datenauswertung erscheinen daher als wichtige Hilfsmittel für die Ableitung hochauflösender Geländemodelle. Hierzu durchgeführte Testreihen zeigen, dass Punktgenauigkeiten im Subpixel-Bereich und DTM-Auflösungen von bis zu 50 m für große Bereiche der Marsoberfläche und mit vertretbarem Aufwand erzielbar sind.

1 Einleitung

Seit Januar 2004 wird die High Resolution Stereo Camera (HRSC, NEUKUM et al., 2004) im Rahmen der ESA Mission Mars Express zur Aufnahme der Marsoberfläche eingesetzt. HRSC ist ein Pushbroom-Mehrzeilensensor, der die Aufnahme von bis zu fünf in unterschiedlichen Beobachtungsrichtungen aufgenommenen panchromatischen Bildstreifen pro Orbit gestattet. Gleichzeitig werden Bilddaten in 4 Multispektralkanälen aufgezeichnet. Die Bodenauflösung erreicht bis zu 10 m/Pixel.

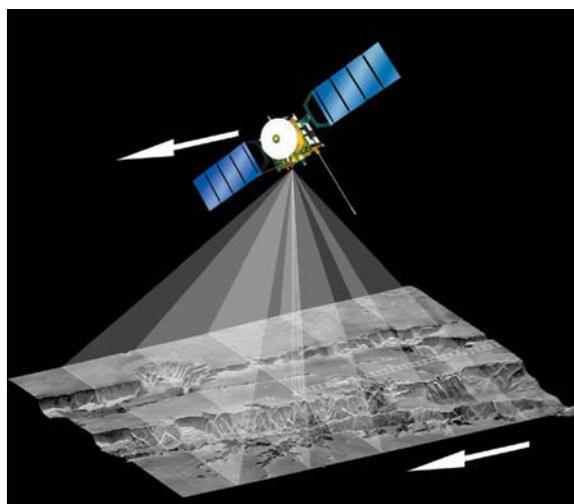


Abb. 1: Aufnahmeprinzip der High Resolution Stereo Camera (HRSC).

¹ M.A. Dipl.-Geol. KLAUS GWINNER, Dipl.-Ing. FRANK SCHOLTEN, Dr. BERND GIESE, Dr. JÜRGEN OBERST, Dr. RALF JAUMANN, Institut für Planetenforschung, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), 12489 Berlin, Tel.: ++49-30-67055-310, e-mail: Klaus.Gwinner@dlr.de

² Dipl.-Ing. MICHAEL SPIEGEL, Photogrammetrie und Fernerkundung, Technische Universität München, 80333 München

³ Dipl.-Ing. RALPH SCHMIDT, Institut für Photogrammetrie und GeoInformation, Universität Hannover, 30167 Hannover

⁴ Prof. Dr. GERHARD NEUKUM, Freie Universität Berlin, Fernerkundung der Erde und der Planeten, 12249 Berlin

2 DGM-Generierung

Die Oberflächenrekonstruktion aus den panchromatischen Bilddaten kann sich auf die Vorteile des Mehrfachstereo-Verfahrens stützen, nämlich verbesserte Zuverlässigkeit, Qualitätskontrolle und Automatisierbarkeit durch günstige Sichtbarkeitsbedingungen und überbestimmte Objektpunkte. Das Pushbroom-Verfahren gewährleistet außerdem eine zeitnahe Aufzeichnung aller Stereobeobachtungen.

Zur stereophotogrammetrischen Auswertung von HRSC-Daten wurde am DLR ein umfangreiches, auf Vorarbeiten an der TU Berlin aufbauendes Softwaresystem, entwickelt (SCHOLTEN et al., 2005). Es umfasst Prozeduren zur digitalen Bildkorrelation, Objektpunktbestimmung, DGM-Interpolation und Orthorektifizierung. Die Ableitung von digitalen Höhenmodellen kann auf verbesserten Daten der äußeren Orientierung aufbauen, die mit an der TU München und der Universität Hannover entwickelten Verfahren zur Bündelausgleichung und Bestimmung von Verknüpfungspunkten abgeleitet werden (SCHMIDT et al., 2005; SPIEGEL et al., 2005).

Die Ableitung von Digitalen Geländemodellen (DGM) aus HRSC-Daten unterliegt einer Vielzahl von veränderlichen Einflussfaktoren, die mit Eigenschaften der Oberfläche des Planeten und seiner Atmosphäre sowie mit den technischen Merkmalen des Aufnahmesystems verknüpft sind. So wirken sich z.B. Kontrastverluste durch örtliche Zunahme der optischen Dicke der Atmosphäre unmittelbar auf die Kompressionseigenschaften der Bilddaten aus. Darüber hinaus liegen unterschiedliche Qualitäten der Daten zur äußeren Orientierung vor sowie eine beträchtliche Variationsbreite der nominellen Bodenauflösung.

Infolge dessen erscheint für die Erstellung hochauflösender Geländemodelle mit standardisierten Qualitätsmerkmalen die Verwendung adaptiver Verarbeitungskomponenten sinnvoll. Daneben kommt der Definition von geeigneten Qualitätsparametern zur Steuerung automatischer Verarbeitungsabläufe und für die Produktkontrolle große Bedeutung zu. Vor diesem Hintergrund durchgeführte Untersuchungen anhand von Testreihen zu unterschiedlichen Verarbeitungsvarianten dienen neben der Definition optimierter Verarbeitungsprozeduren auch einer eingehenderen Beurteilung der Potenziale, die HRSC für die Ableitung hochauflösender DGM der Marsoberfläche bietet. Bei den Testreihen wurde unter anderem auch die Verwendung eines adaptiven Verfahrens zur Tiefpassfilterung mit variabler Bandbreite (GWINNER et al., 2005) erprobt.

3 DGM-Analyse und Ergebnisse

Im Zentrum des Interesses steht bei diesen Untersuchungen die innere Genauigkeit der Modelle, die sich in erster Linie aus der räumlichen Dichte und relativen Genauigkeit der abgeleiteten Objektpunkte ergibt und z.B. Vollständigkeit, Detailreichtum und morphologische Formtreue der Oberflächenbeschreibung betrifft. Aspekte der Absolutgenauigkeit in bezug auf ein geodätisches Referenzsystem werden z.B. in SPIEGEL et al. (2005) behandelt. Die Ergebnisse werden anhand von verarbeitungsinternen Qualitätsparametern und durch Vergleich mit existierenden topographischen Daten des MOLA Experiments (Mars Orbiter Laser Altimeter; SMITH et al., 2003) beurteilt. An dieser Stelle kann nur eine zusammenfassende Darstellung der erzielten Ergebnisse gegeben werden. Eine ausführlichere Beschreibung findet sich in GWINNER et al. (2005).

Als Testdatensatz werden HRSC Stereodaten des ersten Missionsjahres aus 30 verschiedenen Orbits verwendet. Die Daten decken Gebiete mit unterschiedlichen Relieftypen (Graben-systeme, Flachländer, südliches Hochland, Schildvulkane) ab. Die Flächenabdeckung beträgt ca. 2 Mio. km², d.h. einige wenige Prozent der innerhalb der nominellen Missionsdauer erwarteten Abdeckung.

Für die Korrelation der HRSC-Bilder lässt sich bei Verwendung von durch Bündelausgleichung verbesserten Orientierungsdaten Subpixelgenauigkeit nachweisen: Die mittleren Objektpunktschnittfehler zeigen eine deutlich ausgeprägte lineare Korrelation mit der nominellen Bodenauflösung des Nadirkanals und betragen durchschnittlich 90 % der letzteren. Dies entspricht einer Schnittgenauigkeit von 36-64 % der mittleren Bodenauflösung aller 3 bzw. 5 Stereokanäle. Insgesamt bestätigen sich damit frühere Befunde zur grundsätzlichen Realisierbarkeit einer subpixelgenauen Korrelation JPEG-komprimierter Bilder (z.B. PARKES et al., 1991). Jedoch lässt sich die Hauptschwierigkeit bei der Bildzuordnung für HRSC im Erreichen einer flächenhaft und im Sinne von Mehrfachbeobachtungen möglichst vollständigen und fehlersicheren Bildzuordnung erkennen. In der überwiegenden Mehrheit der Fälle hat sich hier eine Vorverarbeitung der Bilddaten durch adaptive Tiefpassfilterung mit variabler Bandbreite als vorteilhaft erwiesen. Sie führt zur größten Vollständigkeit der Bildzuordnung, zum höchsten Akzeptanzgrad der Objektpunkte und zum höchsten Besetzungsgrad des DTM-Rasters (Prozentsatz von Rasterzellen, die mindestens einen Objektpunkt enthalten). Eine nicht adaptive Filterung mit konstanter Bandbreite erbringt im allgemeinen zwar eine gute Vollständigkeit der Bildzuordnung, führt aber häufig durch geringe Akzeptanz der Objektpunkte zu niedrigen Besetzungsgraden. Die Verwendung ungefilterter Daten führt mit deutlich geringerer Erfolgsrate beim Matching zu den kleinsten Besetzungsgraden.

Für die auf Basis der adaptiven Filterung erstellten DGM ergaben sich folgende Durchschnittswerte (und Bestwerte) für die wichtigsten internen Qualitätsmerkmale:

Vollständigkeit der Bildkorrelation:¹ **66% (95%)**
davon Mehrbildzuordnungen: 90% (97%)

Mittlerer Objektpunktschnittfehler:² **≥ 7 m,**
im Durchschnitt etwa 90% der Nadiraufklärung

¹ bei geometrischer Vorkorrektur auf vierfache nominelle Nadiraufklärung

² mit verbesserten Orientierungsdaten

Die Erzeugung von DGM mit Auflösungen von bis zu 50 m scheint angesichts der erzielten Punktgenauigkeiten und Besetzungsgrade für große Bereiche der Marsoberfläche realisierbar zu sein.

4 Beispiele

Abb. 2 zeigt ein Produktbeispiel für ein hochauflösendes HRSC-Geländemodell sowie die Verbesserung der Geländedarstellung im Vergleich zum MOLA-DGM. Die Stereodaten wurden in Orbit 1070 mit einer Bodenauflösung von ca. 11 m/Pixel (Nadirkanal) aufgezeichnet, also etwa mit der maximalen Bodenauflösung. Ein weiteres Beispiel (Abb. 3) zeigt dagegen den Fall einer Bildsequenz mit für HRSC auf Mars Express ungewöhnlich niedriger Bodenaufklärung (ca. 58 m/Pixel für den Nadirkanal). Es ist erkennbar, dass selbst in diesem Fall noch eine zu MOLA insgesamt gleichwertige Repräsentation der Marsoberfläche erzielbar ist. Auch hier sind lokal (z.B. an den Abhängen der Valles Marineris) im HRSC-DGM zusätzliche morphologische Details erkennbar.

Die Höhendifferenzen zwischen beiden DGM liegen zumeist unterhalb 100 m. Größere Differenzen von bis zu wenigen hundert Metern sind in der Regel mit durch Interpolation geschlossenen Datenlücken (in beiden Datensätzen) verbunden.

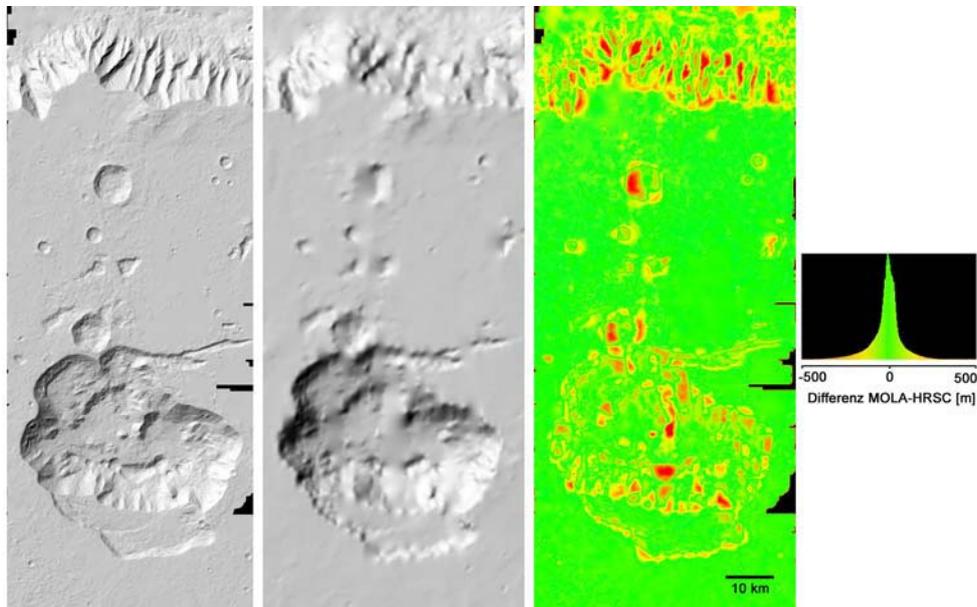


Abb. 2: Juventae Chasma, schattierte Ansicht von HRSC-DGM (50m-Raster, Orbit 1070, links) und MOLA-DGM (Mitte). Rechts: Differenzbild MOLA-HRSC mit Histogramm. Farbkodierung in Histogramm und Differenzbild sind identisch (siehe CDROM-Version für Farbdarstellung).

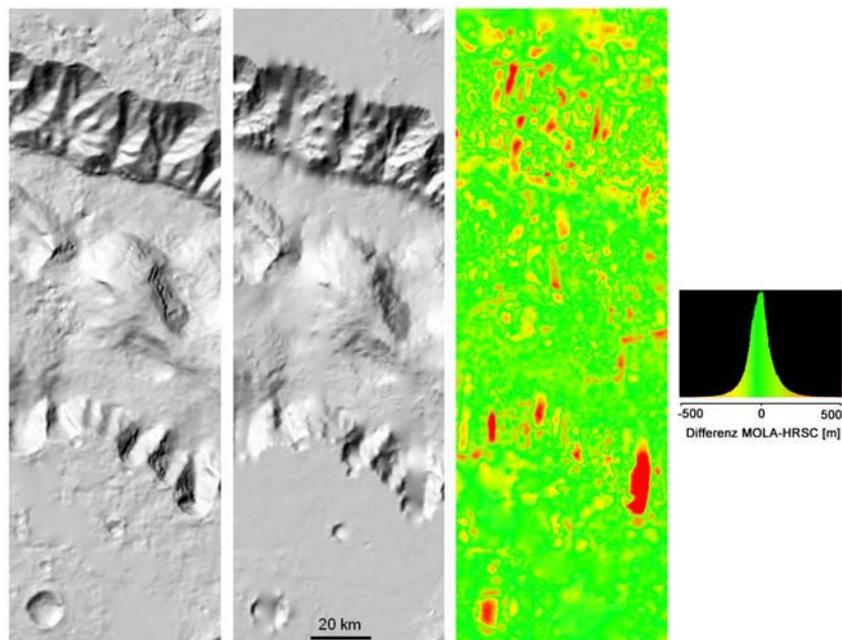


Abb. 3: Candor Chasma (Valles Marineris), schattierte Ansicht von HRSC-DGM (175m-Raster, Orbit 0515, links) und MOLA-DGM (Mitte). Rechts: Differenzbild MOLA-HRSC mit Histogramm. Farbkodierung in Histogramm und Differenzbild sind identisch (siehe CDROM-Version für Farbdarstellung). Beispiel für einen HRSC-Datensatz mit ungewöhnlich niedriger Bodenauflösung.

5 Literaturverzeichnis

- GWINNER, K., SCHOLTEN, F., SPIEGEL, M., SCHMIDT, R., GIESE, B., OBERST, J., JAUMANN, R., NEUKUM, G. & HRSC CO-INVESTIGATOR TEAM, 2005: Hochauflösende Digitale Geländemodelle auf der Grundlage von Mars Express HRSC-Daten. - Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation, **5**, eingereicht.
- NEUKUM, G., JAUMANN, R. & HRSC Co-Investigator Team, 2004: HRSC – The High Resolution Stereo Camera of Mars Express. - ESA Special Publications, 1240.
- PARKES, S.M., ZEMERLY, M.J.A. & MULLER, J.-P., 1991: Image Data Compression and its Effects on Stereo Height Extraction Processing. - Proc. IGARSS 91: S. 1449-1452.
- SCHMIDT, R., HEIPKE, C., BRAND, R., NEUKUM, G. & HRSC CO-INVESTIGATOR TEAM, 2005: Automatische Bestimmung von Verknüpfungspunkten in HRSC-Bildern der Mars Express Mission. - Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation, **5**, eingereicht.
- SCHOLTEN, F., GWINNER, K., ROATSCH, T., MATZ, K.-D., WÄHLISCH, M., GIESE, B., OBERST, J., JAUMANN, R., NEUKUM, G. & HRSC CO-INVESTIGATOR TEAM, 2005: Mars Express HRSC Data Processing. - Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, im Druck.
- SMITH, D., NEUMANN, G., ARVIDSON, R. E., GUINNESS, E. A. & SLAVNEY, S., 2003: Mars Global Surveyor Laser Altimeter Mission Experiment Gridded Data Record. NASA Planetary Data System, MGS-M-MOLA-5-MEGDR-L3-V1.0.
- SPIEGEL, M., STILLA, U., GIESE, B., NEUKUM, G. & HRSC CO-INVESTIGATOR TEAM, 2005: Bündelblockausgleichung von HRSC-Bilddaten mit Mars Observer Laser Altimeter-Daten als Passinformation. - Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation, **5**, eingereicht.