

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

KLAUS GWINNER, FRANK SCHOLTEN, BERND GIESE, JÜRGEN OBERST,
RALF JAUMANN, Berlin; MICHAEL SPIEGEL, München; RALPH SCHMIDT, Hannover;
GERHARD NEUKUM und das HRSC-Co-Investigator Team

Keywords: photogrammetry, multi-line-scanner, Mars Express, HRSC, adaptive filtering, high-resolution DTM, quality assessment

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 werden Testreihen ausgewertet, die auch die Erprobung eines adaptiven Verfahrens zur Bildvorverarbeitung einschließen. Die Ergebnisse werden anhand von verarbeitungsinernen Qualitätsparametern analysiert und mit externen Höhendaten verglichen. Sie zeigen, dass Punktgenauigkeiten im Subpixel-Bereich und DGM-Auflösungen von bis zu 50 m für große Bereiche der Marsoberfläche mit vertretbarem Aufwand erzielbar sind.

Summary: *High-resolution Digital Terrain Models based on Mars Express HRSC data.* Surface reconstruction from HRSC stereo imagery is subject to a variety of variable properties related to the atmosphere and surface of Mars as well as to the imaging system. Adaptive processing and the use of efficient quality parameters for controlling data analysis are considered to be key issues for the derivation of Digital Terrain Models. Concerning this, we analyse test series that include an experimental method for signal adaptive image pre-processing. The results are assessed based on internal quality parameters of the processing chain and compared to external terrain data. They show that subpixel-scale point accuracy and DTM resolution of up to 50 m can be achieved for large parts of the surface of Mars within reasonable effort.

1 Einleitung

Die Ableitung von Digitalen Geländemodellen (DGM) aus Stereobilddaten der *High Resolution Stereo Camera* (HRSC) auf Mars Express (NEUKUM et al. 2004) 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 Kompres-

sionseigenschaften 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 hoch auflösender 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.

Im Zentrum des Interesses steht hierbei 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. von SPIEGEL et al. (2005) behandelt. Die Ergebnisse werden anhand von verarbeitungsinternen Qualitätsparametern und durch Vergleich mit existierenden topographischen Daten des *Mars Orbiter Laser Altimeter* (MOLA) Experiments (SMITH et al. 2003) beurteilt.

2 Zur geometrischen und radiometrischen Auflösung der Bilddaten

Bereits vor Missionsstart konnten die Potentiale von HRSC Stereobilddaten für die Oberflächenrekonstruktion anhand von flugzeuggestützten Experimenten unter Verwendung des HRSC-Qualifikationsmodells demonstriert werden, wobei auch Zielgebiete mit starkem Relief und regolithartigen Oberflächen bearbeitet wurden (GWINNER et al. 2000). Jedoch erfolgt die Aufnahme der Marsoberfläche unter Rahmenbedingungen, die eine teilweise Einschränkung der nominellen radiometrischen und geometrischen Auflösung bewirken. Beispielsweise führt die im Einzelnen nicht vorhersehbare kontrastreduzierende Wirkung der Atmosphäre nicht selten zu starker Einschränkung des lokalen Grauwertumfangs.

Die geometrische Auflösung der Bilddaten (max. ~ 11 m/Pixel) hängt von der momentanen Höhe der elliptischen Umlaufbahn und der Verwendung von Makropixelformaten ab und wird außerdem durch die Kompression der Bilddaten beeinflusst. Die Kompressionsrate weist eine laterale Varia-

bilität auf, die unter den Bedingungen streng limitierter Datenraten eine gezielte Erfassung texturreicher Oberflächenbereiche mit höchster Auflösung ermöglichen soll, was umgekehrt eine stärkere Kompression für homogene Oberflächenbereiche bedeutet. Das Kompressionsverfahren basiert auf einer JPEG-Variante und ist verlustbehaftet. Als direkte qualitätsmindernde Faktoren sind Blockbildung (durch die separate Kompression nicht überlappender Bildfenster) sowie die Speicherung der Transformationsparameter mit reduzierter Genauigkeit zu nennen.

3 Experimentelle Bildfilterung

Zur Verbesserung von JPEG-komprimierten Bildern wurde eine Vielzahl verschiedener Verfahren vorgeschlagen (vgl. z. B. NOSRATINIA 2001). Sie reichen von einfachen Glättungsoperatoren bis hin zu rechenintensiven Verfahren, die auf eine Rekonstruktion der exakten Transformationsparameter abzielen, wobei der Nachweis der Gültigkeit verbesserter Koeffizienten im allgemeinen Fall aber Schwierigkeiten bereitet.

Das hier angewendete Konzept sieht die Existenz und implizite Berücksichtigung lokaler Variationen der effektiven Bildauflösung vor, die durch hochfrequente Störsignale überlagert werden. Diese können durch eine signaladaptive Tiefpassfilterung reduziert werden. Hauptziel ist dabei die Reduktion von durch Kompressionsartefakte bedingten Fehlzuordnungen bei der digitalen Bildkorrelation. Die Tiefpassfilterung gestattet außerdem eine radiometrisch verbesserte Erfassung der durch die Kompression weniger stark verfälschten niederfrequenten Signalanteile.

Für die experimentelle Vorverarbeitung von HRSC-Bilddaten wurde ein Gauss-Tiefpass mit adaptiver Bandbreite implementiert und als Grundlage einer eigenen Verarbeitungsvariante der Testreihen eingesetzt. Als Kriterium zur ortsabhängigen Skalierung der Filtergröße wird ein Schwellwert des lokalen Informationsgehaltes $-\sum_j p_v \ln p_v$ mit p_v als relativer Häufigkeit des Grauwerts v in einem bis zum Unter-

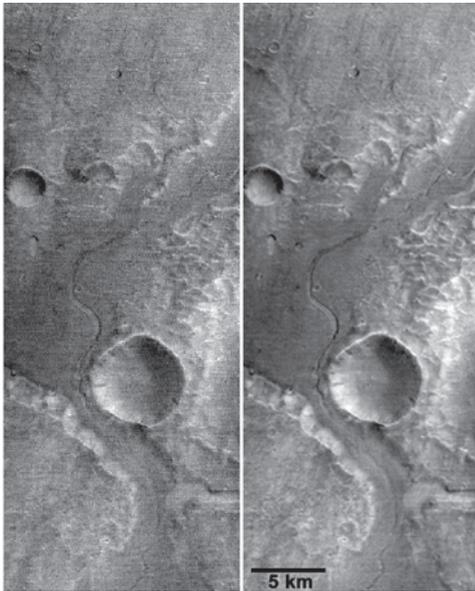


Abb. 1: Links: Geometrisch korrigiertes Originalbild (Nadirkanal), MEX Orbit 0047. Rechts: Filterung mit adaptivem Gauss-Tiefpass.

schreiten des Schwellwerts schrittweise verkleinertem Analysefenster der Größe j verwendet. Abb. 1 zeigt ein Anwendungsbeispiel.

4 Photogrammetrische Verarbeitung

Für die Ableitung von DGM aus radiometrisch korrigierten HRSC-Daten (Level-2) steht ein umfangreiches Programmsystem zur Verfügung, das u. a. Komponenten für geometrische Bildkorrektur und Kartenprojektion, Bildzuordnung, Objektpunktbeziehung sowie DGM-Berechnung beinhaltet. Es wurde, aufbauend auf Vorarbeiten an der Technischen Universität Berlin, am DLR entwickelt (SCHOLTEN et al. 2005). Zur Ableitung verbesserter Orientierungsdaten mit Hilfe der automatischen Zuordnung von Verknüpfungspunkten (SCHMIDT et al. 2005) und Bündelausgleichung unter Berücksichtigung von MOLA-Passinformation (SPIEGEL et al. 2005) werden an der Universität Hannover und der Technischen Universität München entwickelte Programme verwendet.

Das Verarbeitungsschema entspricht insgesamt dem in SCHOLTEN et al. (2005) dargestellten, jedoch finden zusätzliche experimentelle Module zur Bildfilterung Anwendung. Die geometrische Vorkorrektur der Bilder unterscheidet sich durch die zusätzliche Verwendung eines vorläufigen HRSC-DGM. Die Parameter der Standardverarbeitung wurden diesen Modifikationen entsprechend angepasst bzw. durch parametrisierte Definitionen ersetzt.

Für alle Testdatensätze wurden drei Vorverarbeitungsvarianten erzeugt, die zum einen ungefilterte Stereobildern, zum zweiten eine Filterung mit einem invarianten Gauss-Tiefpass ($\text{FWHM} = 3.5$ Pixel), und im dritten Fall eine Filterung mit dem oben beschriebenen adaptiven Gauss-Tiefpass umfassen. Die Bildkorrelation wurde für alle Testdatensätze mit identischen Parametern durchgeführt.

Für alle Datensätze wurden driftkorrigierte Aufnahmezeiten und als Orientierungsdaten rekonstruierte Bahn- und nominelle Lagedaten verwendet. Für den überwiegenden Teil der Testdatensätze (23 Orbits) wurden als Grundlage einer zusätzlichen Verarbeitungsvariante auch durch Bündelausgleichung verbesserte Orientierungsdaten benutzt.

5 Kriterien zur Qualitätsbeurteilung

Die Beurteilung der Ergebnisse erfolgt zunächst auf der Grundlage von statistischen und geometrischen Eigenschaften von Zwischenprodukten der Verarbeitung, welche die relative Höhen- und Lagegenauigkeit sowie die erzielbare DGM-Auflösung beeinflussen. Hierzu zählen die Vollständigkeit der Bildkorrelation (Prozentsatz erfolgreich zugeordneter Bildpunkte), der mittlere Objektpunktschnittfehler (aus überbestimmten Vorwärtsschnitten), die Objektpunktdichte bzw. Objektpunktakzeptanz (flächenhafte Verteilungsdichte bzw. Prozentsatz der nach bestimmten Kriterien für die DGM-Erstellung akzeptierten Objektpunkte) und schließlich die laterale Variabilität von Objektpunktdichte und Schnittfehler.

Neben diesen internen Kriterien ist durch das global verfügbare MOLA-DGM (Lagegenauigkeit ca. 200 m, Höhengenaugigkeit ca. 10 m, vgl. SMITH et al. 2003) eine unabhängige Kontrolle der Ergebnisse möglich. Eine stärker qualitativ ausgerichtete Validierungsmethode untersucht die konsistente Repräsentation bekannter Morphologiemerkmale (z. B. Kraterformen).

Die horizontale DGM-Auflösung ist dagegen ein zunächst rein technischer Parameter, der sich aus einer zweckmäßigen Festlegung anhand bestimmter Qualitätsparameter ergibt oder an vorgegebenen Standardwerten ausgerichtet ist.

6 Testdatensatz: Überblick

30 Orbits des ersten Missionsjahres (ca. 40 GB Ausgangsdaten),

- ca. 2 Mio. km², d. h. einige wenige Prozent der innerhalb der nominellen Missionsdauer erwarteten Abdeckung,
- Geographische Breite: 50°N bis 40°S,
- Unterschiedliche Relieftypen (Grabensysteme, Flachländer, Südliches Hochland, Schildvulkane),
- >1.2 Mrd. abgeleitete Objektpunkte.

Im Hinblick auf Abhängigkeiten von der Bildauflösung wurde eine im Vergleich zum gesamten HRSC-Datenbestand große Anzahl von Datensätzen mit mittlerer bis niedriger Auflösung einbezogen (Abb. 2).

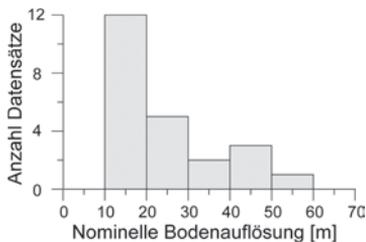


Abb. 2: Auflösungshistogramm für den Testdatensatz (nominelle Bodenaufklärung der Nadirbildern).

7 Ergebnisse

7.1 Vollständigkeit der Bildkorrelation

Hinsichtlich der Vollständigkeit der Bildkorrelation zeigt sich für beide Filterungsvarianten ein Anstieg der durchschnittlichen Erfolgsrate um 15–20% gegenüber der Korrelation von ungefilterten Bildern (Tab. 1). Für einzelne Datensätze wächst die Anzahl homologer Punkte um nahezu den Faktor 3 an und fällt nie signifikant unter den für ungefilterte Bilder erhaltenen Wert ab. In Einzelfällen wurde nach Filterung eine fast vollständige Zuordnung des Suchrasters möglich (>95%). Es wurde keine signifikante Abhängigkeit von der nominellen Bildauflösung beobachtet. Die Qualität der homologen Bildpunkte bleibt nun anhand der Eigenschaften der resultierenden Objektpunkte zu überprüfen.

Tab. 1: Erfolgsrate der Bildkorrelation für den Testdatensatz (in Prozent), je Vorverarbeitungsvariante. Geometrische Vorkorrektur der Bilder auf 4-fache nominelle Nadirauflösung.

	Ohne Filterung	Invarianter Tiefpass	Adaptiver Tiefpass
Mittelw.	49,0	63,3	66,1
Min.	15,1	34,7	35,8
Max.	81,2	98,5	95,3

7.2 Mittlerer Objektpunkt-Schnittfehler

Abb. 3 zeigt die mittleren Schnittfehler der Objektpunkte der verschiedenen Datensätze in Abhängigkeit von der nominellen Bildauflösung des Nadirkanals. Die homologen Punkte entsprechen den in Abschnitt 7.1 beschriebenen Datensätzen in der adaptiv gefilterten Variante. Schnittfehler oberhalb eines 95%-Vertrauensintervalls führen zum Ausschluss der Objektpunkte und gehen nicht in die angegebenen mittleren Schnittfehler ein.

Mit verbesserten Orientierungsdaten zeigt sich 1) eine recht gute Korrelation zwi-

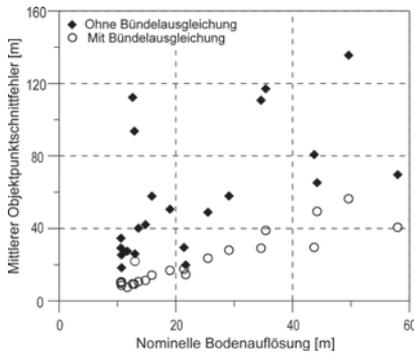


Abb. 3: Mittlere Schnittfehler je Datensatz in Abhängigkeit von der nominellen Bildauflösung (Nadir). A originale, B verbesserte Orientierungsdaten.

schen Auflösung und Genauigkeit, 2) die Subpixel-Genauigkeit der Bildkorrelation: nach der Korrektur globaler Fehlerkomponenten liegen die Punktgenauigkeiten im Bereich der Nadirauflösung (90% der Nadirauflösung gemäß linearer Regression), welche in der Regel etwa um den Faktor 2 besser ist als die durchschnittliche Auflösung aller Stereokanäle.

Mit wenigen Ausnahmen liegt die Genauigkeitsvariation durch unterschiedliche Vorverarbeitung im Bereich von $\pm 10\%$. Durchschnitts- und Extremwerte finden sich in Tab. 2.

Tab. 2: Durchschnitts- und Extremwerte (in m) für die mittleren Schnittfehler aller Datensätze bei unterschiedlicher Vorverarbeitung.

	Ohne Filterung	Invarianter Tiefpass	Adaptiver Tiefpass
Mittelw.	21,0	23,0	20,5
Min.	8,3	7,5	7,5
Max.	57,3	58,0	56,4

7.3 Objektpunktdichte

An die Akzeptanz der durch Vorwärtsschnitt bestimmten Objektpunkte für die DGM-Generierung wurden die Bedingungen einer mindestens dreifachen Simultan-

beobachtung und eines Schnittfehlers unterhalb dem 95%-Niveau der Fehlerverteilung geknüpft. Bei den resultierenden „Ausdünnungsgraden“ (Abb. 4) zeigt sich ein deutlicher Unterschied zwischen den beiden Filterungsvarianten, wobei die adaptive Filterung meist die größere Punktakzeptanz aufweist, während die Werte der invarianten Filterung stark streuen und teilweise eine Punktzurückweisung im Umfang von über 60% anzeigen. Aus Abb. 5 ist erkennbar, dass dies mit einer oft geringen Anzahl von höherwertigen Mehrfachsnitten einhergeht, während in den anderen Fällen zumeist 50–80% Fünffachsnitte vorliegen. Niedrige Anteile von Mehrfachsnitten resultieren aus erfolglosen Zuordnungsversuchen beim Matching und vermindern im allgemeinen die Zuverlässigkeit von Objektpunkten.

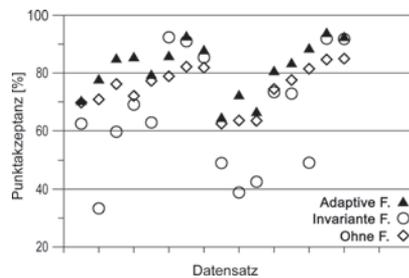


Abb. 4: Prozentsatz der akzeptierten Objektpunkte je Datensatz in den verschiedenen Vorverarbeitungsvarianten.

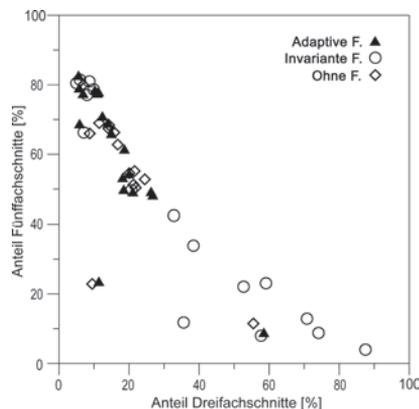


Abb. 5: Gegenüberstellung der Anteile von Dreifach- und Fünffachsnitten innerhalb der einzelnen Objektpunktwolken.

7.4 Laterale Variabilität von Objektpunktdichte und Schnittfehler

Da die flächenbasierte Bildkorrelation zur Konzentration zahlreicher Punkte in stark texturierten Bildbereichen neigt, ist neben den Raten von Matching-Erfolg und Punktakzeptanz die flächenhafte Anordnung der Objektpunkte von Interesse. Diese kann an Hand von Abdeckungskarten untersucht werden, die alle Rasterzellen des DGM zeigen, die mindestens einen Objektpunkt enthalten (Abb. 6). Der Rasterzelle wird außerdem der mittlere Schnittfehler der enthaltenen Objektpunkte als Wert zugewiesen. Der Prozentsatz belegter Rasterzellen stellt als „Besetzungsgrad“ ein weiteres Maß für die Punktdichte dar, welches natürlich von der Wahl der Rasterweite abhängt. Beim Vergleich zwischen den verschiedenen Verarbeitungsvarianten, die jeweils dieselbe Rasterweite aufweisen, ergeben sich im Durchschnitt Werte von 59 % und 54 % für adaptive und invariante Filterung, sowie ein kleinerer Wert von 44 % für ungefilterte Aus-

gangsdaten. Im Einzelfall treten Zuwächse gegenüber dem ungefilterten Fall um den Faktor 1,6 (invariant) bzw. 1,8 (adaptiv) auf, d. h. durch geeignete Filterung kann sich nahezu eine Verdoppelung des Besetzungsgrades ergeben. Die laterale Variation von Besetzungsgrad und Schnittfehler ist beispielhaft in Abb. 6 für Orbit 1070 dargestellt, zusammen mit der Häufigkeitsverteilung der Schnittfehler. Dieser Datensatz weist die höchsten bisher erzielten Schnittgenauigkeiten auf. Zu beachten sind die bessere Abdeckung und die geringere Streuung der Fehlerverteilung für den Fall adaptiv gefilterter Bilddaten.

7.5 Lokale Höhendifferenzen zu MOLA-Daten

Zum Vergleich mit dem MOLA-DGM werden auf adaptiver Filterung und verbesserten Orientierungsdaten beruhende DGM herangezogen. Verbleibende Lagedifferenzen (von i. d. R. wenigen HRSC-Raster-

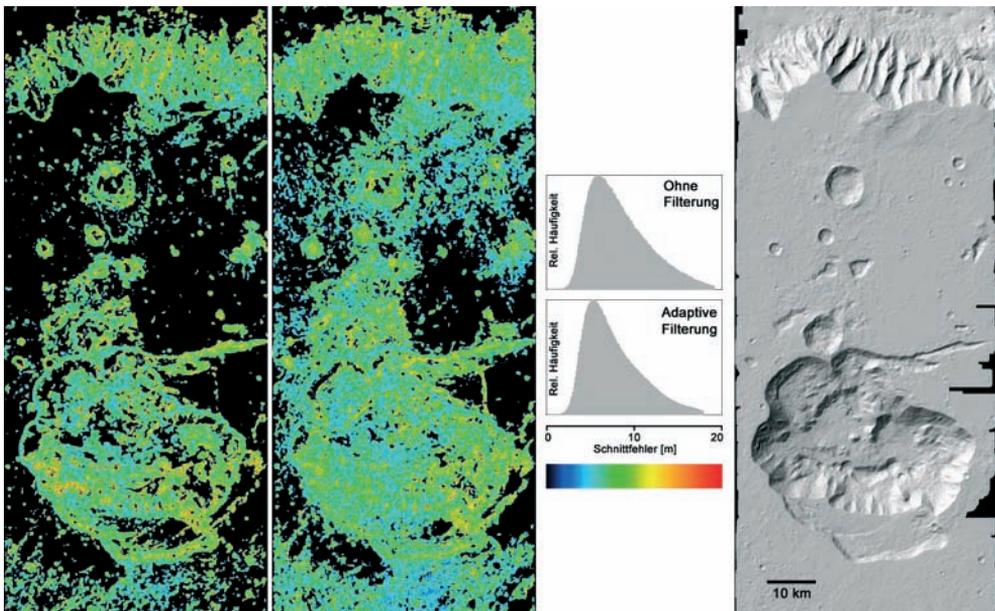


Abb. 6: MEX Orbit 1070, nominelle Nadirauflösung 12 m/Pixel, DGM-Raster 50 m. Von links nach rechts: Abdeckungskarte mit farbkodiertem Schnittfehler für ungefilterte Bilddaten (schwarz: keine Punkte); dasselbe für adaptiv gefilterte Bilddaten; zugehörige Fehlerverteilungen; schattierte Ansicht (adaptive Filterung).

punkten) werden manuell korrigiert. Für die Höhenkomponente wird dann eine Offset-Korrektur vorgenommen. Größere residuale Höhendifferenzen zwischen den beiden Datensätzen (Abb. 7) sind überwiegend mit durch Interpolation geschlossenen Datenlücken (in beiden DGM) verbunden.

Daneben ist lokal, auch für sehr niedrig auflösende Beispiele des Testdatensatzes, eine deutlich verbesserte Detaildarstellung feststellbar (z. B. detailgetreue Repräsentation kleiner Täler und Krater).

8 Zusammenfassung und Ausblick

Für die Korrelation der HRSC-Bilder lässt sich bei Verwendung von durch Bündelausgleich verbesserten Orientierungsdaten Subpixelgenauigkeit nachweisen, wobei kein signifikanter Unterschied zwischen den verwendeten Filterungsvarianten feststellbar ist. Insgesamt bestätigen sich damit frühere Befunde zur grundsätzlichen Realisierbarkeit einer subpixelgenauen Korrelation JPEG-komprimierter Bilder (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 eine Vorverarbeitung der Bilddaten durch adaptive Filterung hierbei als vorteilhaft erwiesen. Sie führt zur größten Vollständigkeit der Bildzuordnung, zum höchsten Akzeptanzgrad der Objektpunkte und zum höchsten Besetzungsgrad des DGM-Rasters. Die *Ortsinvariante* Filterung 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:

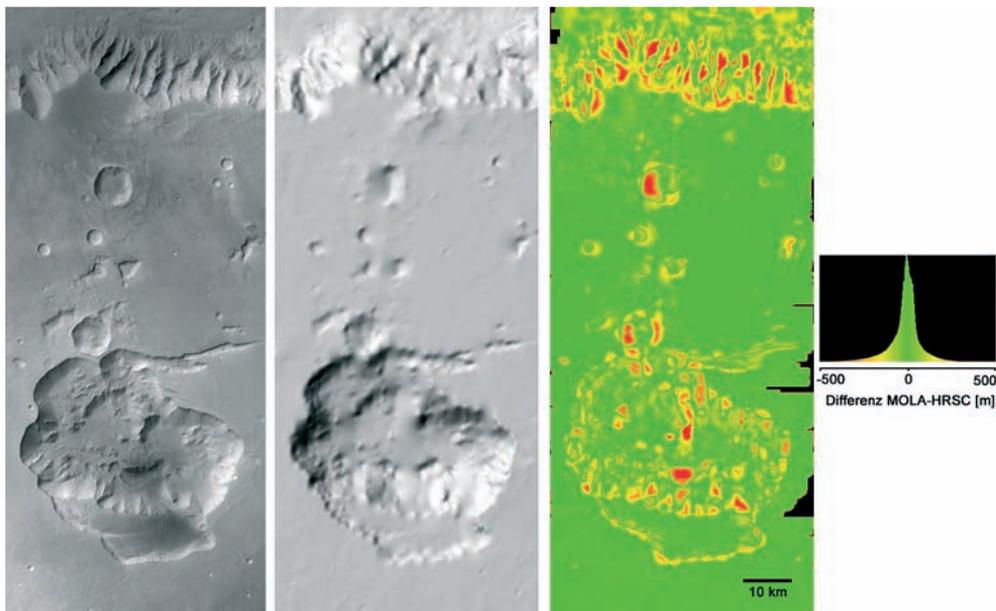


Abb. 7: Ausschnitt wie Abb. 6. Von links nach rechts: HRSC-Orthobild (Nadir); schattierte Ansicht des MOLA-DGM; Differenzbild aus HRSC- und MOLA-DGM sowie Häufigkeitsverteilung der Höhendifferenzen. Farbskala für Differenzbild entspricht Farbkodierung des Histogramms.

Vollständigkeit der Bildkorrelation (bei geometrischer Vorkorrektur auf vierfache nominelle Nadirauflösung): 66 % (95 %)

davon Mehrbildzuordnungen: 90 % (97 %)

Mittlerer Objektpunktschnittfehler (mit verbesserten Orientierungsdaten): ≥ 7 m, im Durchschnitt etwa 90 % der Nadirauflösung.

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.

Dank

Die Autoren danken für die wertvolle Unterstützung durch die HRSC Teams des DLR und der FU Berlin. Besonderer Dank gilt Dr. T. ROATSCH und K.-D. MATZ von Seiten der systematischen Prozessierung von HRSC-Daten.

Literaturverzeichnis

- GWINNER, K., HAUBER, E., JAUMANN, R. & NEUKUM, G., 2000: High-resolution, digital photogrammetric mapping: a tool for Earth science. – *Eos* 81, 44: 513–520.
- NEUKUM, G., JAUMANN, R. & HRSC Co-Investigator Team, 2004: HRSC – The High Resolution Stereo Camera of Mars Express. – ESA Special Publications, 1240.
- NOSRATINIA, A., 2001: Denoising of JPEG images by re-application of JPEG. – *Journal of VLSI Signal Processing* 27: 69–79.
- 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: 1449–1452.
- SCHMIDT, R. et al., 2005: Automatische Bestimmung von Verknüpfungspunkten in HRSC-Bildern der Mars Express Mission. – *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation* 2005 (5): 373–379.
- SCHOLTEN, F., GWINNER, K., ROATSCH, T., MATZ, K.-D., WÄHLISCH, M., GIESE, B., OBERST, J., JAUMANN, R., NEUKUM, G. & HRSC CoI-Team, 2005: Mars Express HRSC Data Processing. – *Photogrammetric Eng. & 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. et al., 2005: Bündelausgleichung von HRSC-Bilddaten mit Mars Observer Laser Altimeter-Daten als Passinformation. – *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation* 2005 (5): 381–386.

Anschriften der Autoren:

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)

D-12489 Berlin

Tel.: +49-30-67055-310 (K. GWINNER)

Fax: +49-30-67055-402

e-mail: Klaus.Gwinner@dlr.de

Dipl.-Ing. MICHAEL SPIEGEL

Photogrammetrie und Fernerkundung, Technische Universität München, D-80333 München

Tel.: +49-89-289-22688

Fax: +49-89-2809573

e-mail: spiegel@bv.tu-muenchen.de

Dipl.-Ing. RALPH SCHMIDT

Institut für Photogrammetrie und GeoInformation, Universität Hannover, D-30167 Hannover

Tel.: +49-511-762-2484

Fax: +49-511-762-2483

e-mail: schmidt@ipi.uni-hannover.de

Prof. Dr. GERHARD NEUKUM

Freie Universität Berlin, Institut für Geologische Wissenschaften/Planetologie

Maltesserstraße 74–100, D-12249 Berlin

e-mail: gneukum@zedat.fu-berlin.de

Manuskript eingereicht: Juni 2005

Angenommen: Juli 2005