

## Klassifikation von HRSC-Objektpunkten zur Generierung hochwertiger Geländemodelle der Marsoberfläche

MARIA ATTWENGER, Wien, GERHARD NEUKUM und das HRSC Co-Investigator Team

**Keywords:** photogrammetry, high resolution stereo camera, digital terrain model, linear prediction, point classification method, Mars

**Zusammenfassung:** Hochwertige digitale Geländemodelle (DGMs) sind eine Grundlage zur geologischen Analyse der Entwicklung und des Aufbaus der Marsoberfläche. Die Photos der *High Resolution Stereo Camera* (HRSC) an Bord der Raumsonde Mars Express ermöglichen die Gewinnung von Stereo-Information vom Mars. HRSC-Objektpunkte, die durch flächenbasiertes Matching abgeleitet werden, sind durch grobe Fehler und aufgrund von fehlender beziehungsweise schlechter Textur teilweise durch Datenlöcher beeinträchtigt. Diese Mängel beeinflussen die DGM-Qualität. In diesem Artikel werden zwei iterativ anwendbare Punktklassifikationsmethoden beschrieben. Die erste Methode kann verwendet werden, um grobe Fehler zu reduzieren. Die zweite Methode ermöglicht die Überbrückung von Datenlöchern anhand von Daten des *Mars Orbiter Laser Altimeter* (MOLA) der Mission *Mars Global Surveyor*. Die Zusammenführung beider Methoden ermöglicht eine effiziente Bearbeitung. Die Ergebnisse der Punktklassifikationsmethoden können als Grundlage für die Ableitung hochwertiger DGMs verwendet werden.

**Summary:** *Classification of HRSC object points for the derivation of high quality terrain models.* High quality digital terrain models (DTMs) are the basis for geological analysis of the formation and structure of the Martian terrain. The High Resolution Stereo Camera (HRSC) mounted on the spacecraft Mars Express provides the opportunity to obtain stereo information from its images of Mars. HRSC object points are derived by area based matching. The DTM derivation from HRSC object points is influenced by two deficiencies: 1) Gross errors, 2) Data gaps due to the partial missing and poor texture respectively. This paper describes two iteratively applied point classification methods. The first method reduces gross errors. The second method enables the bridging of data gaps on the basis of Mars Orbiter Laser Altimeter (MOLA) data provided by the mission Mars Global Surveyor. Efficient processing can be achieved by combining both methods. The results of the point classification methods are usable as basis for the derivation of high quality DTMs.

---

### 1 Einleitung

Im Rahmen des Projekts „*HRSC on Mars Express*“ werden zur geometrischen Bestimmung von Oberflächenpunkten des Mars photogrammetrische Auswertungen in Form von flächenbasiertem Matching durchgeführt (SCHOLTEN et al. 2005a). Die anhand dieser Methode gewonnenen Daten

weisen allerdings grob fehlerhafte Objektpunkte und Datenlöcher auf, welche die Berechnung von digitalen Geländemodellen (DGMs) und in weiterer Folge auch von Orthophotos negativ beeinflussen.

Um hoch auflösende DGMs in guter Qualität erstellen zu können, wurde eine Punktklassifikationsmethode entwickelt, die von einem stark ausgedünnten Modell ausgeht

und unter der zusätzlichen Verwendung von Messungen des *Mars Orbiter Laser Altimeter* (MOLA) der *National Aeronautics and Space Administration* (NASA)-Mission *Mars Global Surveyor* (MGS) schrittweise Details hinzufügt und fehlerhafte Objektpunkte eliminiert.

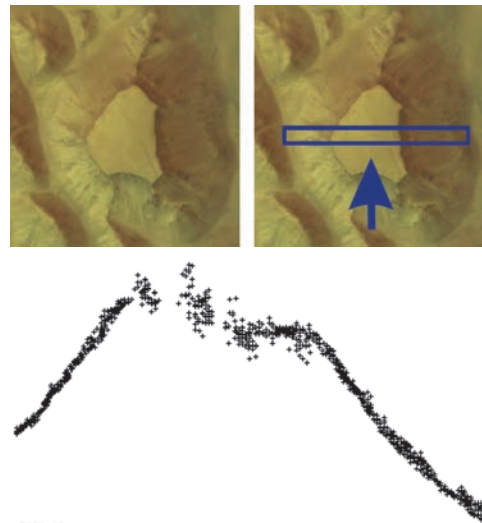
Die Grundlage der folgenden Berechnungen und Darstellungen bilden Matchingergebnisse des *Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt* (DLR) Berlin-Adlershof. Die Daten wurden in Form quadratischer Plattkarten abgebildet.

## 2 Problemstellung

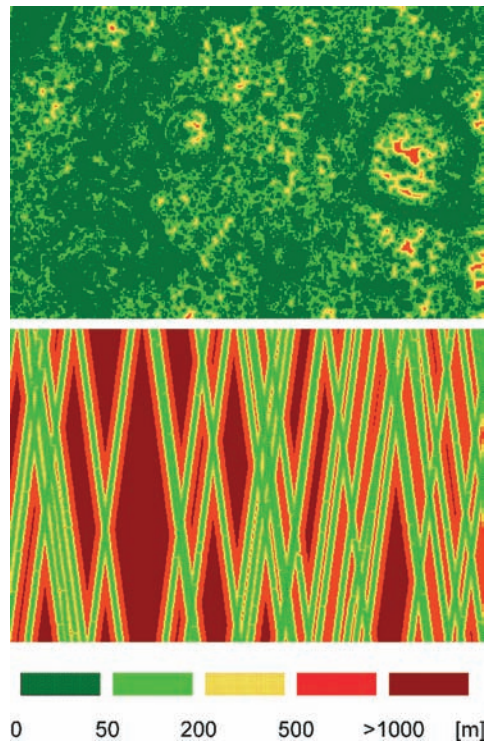
In diesem Kapitel werden die Eigenschaften der zur Verfügung stehenden Datensätze näher beschrieben, und es wird auf die damit verbundenen Probleme bei der Berechnung von DGMs eingegangen.

### 2.1 Datengrundlage

Flächenbasiertes Matching ist von der jeweiligen Albedo der aufgenommenen Oberfläche abhängig. In den Bereichen von Kratern und Bergrücken ist die Textur aufgrund stark ausgeprägter geologischer Formen verschiedenartig. Daher sind HRSC-Objektpunkte bei geeigneter Sonneneinstrahlung von hoher Qualität, sofern nicht allzu große schattige Bereiche auftreten. In ebenen Gebieten sind sie allerdings wegen des Mangels an Textur oftmals grob falsch und nicht flächendeckend vorhanden. In Abb. 1 wird ein Hochplateau im Bereich des Hydrates Chaos (Orbit 18) dargestellt, das in der Profilansicht der Objektpunkte nicht als solches zu erkennen ist. Die größten Ausreißer liegen zirka 500 m über der Oberfläche. Die Datendichte ist von der Auflösung der jeweiligen Bildinformationen abhängig. In Abb. 2 (oben) wird eine repräsentative Punktabstandskarte (BORGEFORS 1986) von einem zirka 1700 km<sup>2</sup> großen Ausschnitt im Bereich der *Nanedi Valles* (Orbit 905) erfassten HRSC-Objektpunkten dargestellt. Dieser Bereich wird auch in den folgenden Abbildungen verwendet. Eine Punktabstandskarte ist eine Farbkodierung des Abstandes



**Abb. 1:** Orthophoto im Bereich des Hydrates Chaos (links oben) und Profilansicht der HRSC-Objektpunkte (unten) innerhalb des angegebenen Bereichs (rechts oben).



**Abb. 2:** Punktabstandskarte aus HRSC-Objektpunkten (oben) und aus MOLA-Spuren (unten) des gleichen Bereichs in den *Nanedi Valles*. Es wurde die gleiche Farbkodierung gewählt.

von regelmäßig angeordneten Gitterpunkten, hier im Abstand von 100 m, zum nächstgelegenen Messpunkt.

MOLA ist ein Laserprofilier, dessen Messungen eine innere Höhengenaugigkeit von 1,4 m (NEUMANN et al. 2003) aufweisen. Die Dichte der MOLA-Daten ist allerdings gering. In Flugrichtung des Orbiters (*along track*) beträgt sie zirka 330 m, quer zur Flugrichtung (*across track*) abhängig von der areographischen Breite bis zu mehreren Kilometern. In Abb. 2 (unten) wird eine zur Abb. 2 (oben) gehörende Punktabstandskarte von MOLA-Daten gezeigt. Die um vieles geringere Datendichte der MOLA-Daten wird durch diese Darstellung deutlich. Während der Abstand zum Gitter bei den HRSC-Objektpunkten großteils im Bereich von maximal 200 m liegt, beträgt dieser bei den MOLA-Daten häufig mehr als 1000 m.

## 2.2 Berechnung digitaler Geländemodelle

Eine in der Lage sehr stark inhomogene Punktverteilung, wie sie bei HRSC-Objektpunkten und MOLA-Daten gegeben ist, wirkt sich auf die Berechnung von DGMs nachteilig aus. Je nach der angewandten Berechnungsmethode nehmen in datenleeren Bereichen weit entfernte Messungen sehr großen Einfluss, oder es entstehen unüberbrückbare Löcher. Zufällige Fehler hingegen können teilweise reduziert werden (z. B. durch Mittelung der umliegenden Stützwerte, lineare Prädiktion), was sich aber glättend im Bereich von Kanten auswirkt. Grobe Fehler können, wenn sie nicht allzu häufig auftreten, bei Verwendung der robusten linearen Prädiktion (KRAUS 1997 und KRAUS & PFEIFER 1998) erkannt und eliminiert werden.

Die alleinige Zusammenführung von HRSC-Objektpunkten und MOLA-Spuren zur DGM-Berechnung verbessert die Qualität der DGMs nicht wesentlich, weil die MOLA-Daten nur punktuellen Einfluss nehmen können. Aus diesem Grund ist eine Klassifikation der HRSC-Objektpunkte in Oberflächenpunkte und Fehlmessungen unter besonderer Berücksichtigung der MO-

LA-Daten in Bereichen, in denen keine HRSC-Objektpunkte vorhanden sind, notwendig.

## 3 Klassifikation der HRSC-Objektpunkte

In diesem Kapitel werden zwei iterative Ansätze zur Klassifikation von HRSC-Objektpunkten vorgestellt. Die erste Methode dient zur Reduktion grob falscher Objektpunkte, die zweite zur Überbrückung datenleerer Bereiche anhand von MOLA-Daten und Eliminierung von grob falschen Daten in Bereichen, in denen mehr als 50 Prozent der HRSC-Objektpunkte fehlerhaft sind.

Die Grundlage beider Methoden ist jeweils ein grobes Ausgangs-DGM, dem im Laufe der Iteration Details hinzugefügt werden. Zur DGM-Berechnung wird die lineare Prädiktion verwendet, die es erlaubt, so genannte Filterwerte zu berücksichtigen. Die Filterwerte sollten in etwa dem zufälligen Fehler entsprechen. Bei Verwendung großer Filterwerte zur DGM-Berechnung wird dem DGM ein großer Spielraum bezüglich der Höhen an den Stützstellen eingeräumt. Dadurch kann ein glattes DGM abgeleitet werden. Setzt man kleine Filterwerte ein, wird das DGM beinahe durch die Stützwerte gezwungen. Kanteninformation bleibt dadurch erhalten, aber auch etwaige Fehler nehmen einen stärkeren Einfluss auf das DGM (KRAUS 2000).

Unabhängig von der Wahl der Klassifikationsmethode muss als vorbereitender Schritt die relative Höhe eines Toleranzbandes bestimmt werden. Daten innerhalb dieses Toleranzbandes, das zuerst um das Ausgangs-DGM und mit Fortschreiten der Iteration um DGMs aus Zwischenergebnissen gelegt wird, werden für den nächsten Iterationsschritt akzeptiert, die übrigen verworfen. Aufgrund des Erfahrungswerts der bisherigen Berechnungen, dass zirka 70 Prozent der ursprünglichen Daten akzeptiert werden, wird derzeit die Häufigkeit der Punkte um ein vorläufiges DGM als Kriterium zur Bestimmung der Größe des Toleranzbandes verwendet. Das heißt, dass das Toleranzband 70 Prozent der Daten um

ein grobes HRSC-Ausgangs-DGM beinhaltet. Je nach Datensatz werden so Toleranzbänder zwischen  $\pm 30$  m und  $\pm 50$  m eingesetzt.

Die beiden skizzierten Methoden werden im Folgenden im Detail beschrieben.

### 3.1 Reduktion grob fehlerhafter Objektpunkte

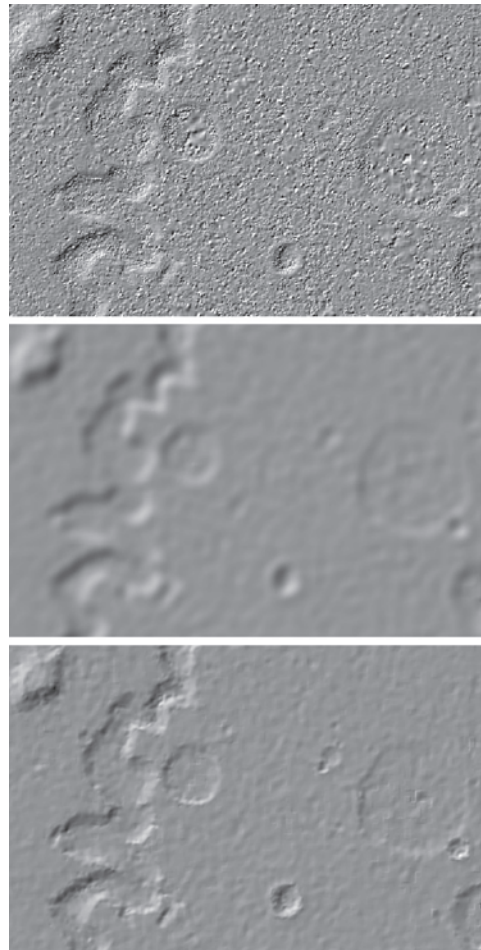
Diese Methode basiert auf der Annahme, dass weniger als 50 Prozent der vorhandenen Daten grob fehlerhaft sind. Sie sollte nur in Bereichen mit ausreichender Punktdichte angewendet werden. Die Methode ist wie folgt aufgebaut:

- (1) Ausdünnen der HRSC-Objektpunkte in einem groben Raster durch Mittelbildung,
- (2) Berechnung eines ersten DGMs aus dem ausgedünnten Datensatz mit großen Filterwerten,
- (3) Akzeptieren und Verwerfen der HRSC-Objektpunkte innerhalb eines Toleranzbandes um das zuvor berechnete DGM,
- (4) Berechnung eines DGMs aus den momentan akzeptierten HRSC-Objektpunkten mit kleinen Filterwerten,
- (5) Iterative Anwendung der Schritte (3) und (4) bis ein zufrieden stellendes Ergebnis erreicht ist.

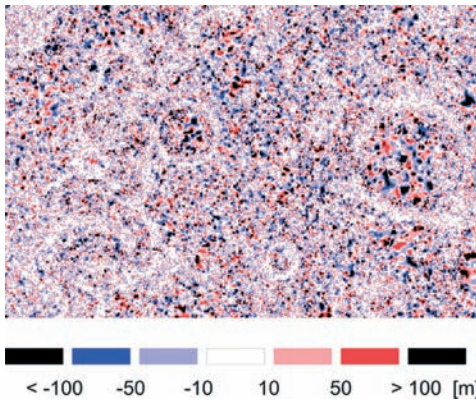
Die Schritte (1) und (2) ermöglichen die Berechnung eines von Fehlern nicht belasteten, groben Ausgangsmodells. Die Schritte (3) und (4) werden iterativ angewandt, wodurch zu dem DGM aus Schritt (2) sukzessive Details hinzugefügt werden. Die Verwendung von kleinen Filterwerten in Schritt (4) zwingt das DGM durch die akzeptierten Stützwerte und führt daher dazu, dass Kanten nicht abgeschnitten werden. In einem Iterationsschritt akzeptierte Punkte können im nächsten wieder verworfen, verworfene Punkte wieder akzeptiert werden. Ergebnisse dieses Vorgangs sind akzeptierte und verworfene Punktwolken. Nach Beendigung der Berechnungen wird ein DGM aus den letztendlich akzeptierten Punkten abgeleitet.

MOLA-Daten können bei dieser Methode als Zusatzinformation dienen. Sie haben aufgrund ihres punktuellen Einflusses allerdings eine geringe Auswirkung auf das Ergebnis.

In Abb. 3 (oben) ist ein aus den ursprünglichen HRSC-Objektpunkten berechnetes DGM abgebildet. Grobe Fehler sind gut erkennbar. Große Datenlöcher können – wie auch Abb. 2 (oben) zeigt – im inneren Bereich des großen Kraters im Osten und des kleineren im Bereich westlich der Mitte erkannt werden. In der Mitte von Abb. 3 ist



**Abb. 3:** DGM aus den HRSC-Objektpunkten (oben), aus dem ausgedünnten HRSC-Datensatz (Mitte) und den akzeptierten HRSC-Objektpunkten (unten) im Bereich von Abb. 2.



**Abb. 4:** Differenzenmodell von dem aus allen HRSC-Objektpunkten (Abb. 3 (oben)) und dem aus den akzeptierten HRSC-Objektpunkten (Abb. 3 (unten)) berechneten DGM.

das aus dem ausgedünnten Datensatz berechnete DGM dargestellt. Die Kanteninformation ist stark reduziert. Abb. 3 (unten) zeigt das aus den akzeptierten HRSC-Objektpunkten und MOLA-Punkten berechnete DGM. Das Datenloch im östlichen Krater konnte nicht gut überbrückt werden. Im Bereich von Abb. 3 standen 411.916 Objektpunkte zur Verfügung, 71 Prozent davon wurden bei Verwendung von 30 m für die relative Höhe des Toleranzbandes akzeptiert. Als Nachweis dafür, dass die Kanteninformation erhalten bleibt, wird in Abb. 4 auch die Höhenkodierung eines Differenzenmodells aus dem DGM des Ausgangsdatsatzes und aus dem DGM der akzeptierten HRSC-Objektpunkte und MOLA-Punkte (Abb. 3 (oben) und (unten)) abgebildet. Kleine Differenzen sind weiß (–10 m bis 10 m), darüber hinausgehende Werte sind blau (–100 m bis 10 m), rot (10 m bis 100 m) oder schwarz (größer 100 m, kleiner –100 m) dargestellt. Abb. 4 zeigt, dass im Bereich der Geländekanten sehr geringe Differenzen vorhanden sind. Im Bereich von Ebenen bestehen allerdings sehr große Differenzen. Dies ist auf die grob fehlerhaften HRSC-Objektpunkte zurückzuführen, die beim Matching aufgrund mangelnder Textur in ebenen Bereichen entstehen.

### 3.2 Überbrückung von Datenlöchern und Elimination großer fehlerhafter Bereiche anhand von MOLA-Daten

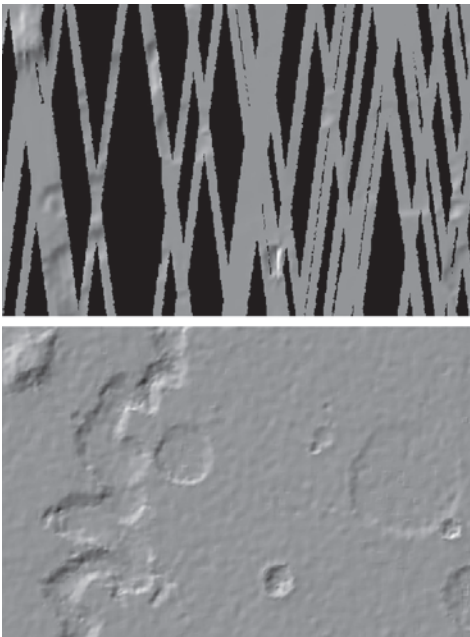
Da die eben erklärte Methode die Ansprüche zur Erstellung von hochwertigen DGMs nur teilweise erfüllt, muss eine Erweiterung gefunden werden, welche die MOLA-Daten ihrer hohen Genauigkeit entsprechend einbindet. Der folgende Ansatz geht wiederum von einem groben DGM aus, allerdings bildet nun ein MOLA-DGM den Startwert. Dieses MOLA-DGM wird nur innerhalb eines schmalen Bandes, eines Distanzbandes, um die jeweiligen MOLA-Spuren berechnet. Daraufhin folgt wiederum ein iterativer Prozess aus Akzeptieren und Verwerfen von Daten innerhalb eines Toleranzbandes und anschließender DGM-Berechnung, allerdings mit schrittweiser Ausweitung des DGMs anhand immer breiter werdender Distanzbänder. Die Methode wird folgendermaßen angewandt:

- (1) Ermittlung von Distanzbändern um die MOLA-Daten,
- (2) Berechnung eines MOLA-DGMs innerhalb der Distanzbänder,
- (3) Akzeptieren und Verwerfen der ursprünglichen HRSC-Objektpunkte innerhalb eines höhenmäßigen Toleranzbandes um das zuvor berechnete DGM,
- (4) Berechnung eines DGMs aus den MOLA-Daten und den momentan akzeptierten HRSC-Objektpunkten,
- (5) Ausdehnung der Distanzbänder,
- (6) Berechnung vermittelnder Flächen am Rand des DGMs aus Schritt (4) innerhalb der neuen Distanzbänder aus Schritt (5) und Integration in das DGM aus Schritt (4),
- (7) Iterative Anwendung der Schritte (3), (4), (5) und (6) bis alle aufgrund der Distanzbänder entstandenen Löcher geschlossen sind.

Die Schritte (1) und (2) ermitteln wiederum den Startwert. Die Schritte (3) bis (6) werden solange iterativ durchgeführt, bis die aufgrund der Distanzbänder entstandenen Löcher geschlossen sind. Diese Methode liefert

auch in Bereichen, wo Datenlöcher oder eine Kombination aus Datenlöchern und groben Fehlern vorhanden sind, gute Ergebnisse. Da die MOLA-Spuren als Startinformation dienen, können bei dieser Methode mehr als 50 Prozent der Daten mit groben Fehlern behaftet sein. Es bleibt aber zu bedenken, dass der Durchmesser des auftretenden MOLA-Signals am Mars zirka 130 m beträgt. Bei hoch auflösenden HRSC-Daten kann es daher sinnvoll sein, nach der ersten Iteration auch die MOLA-Punkte der Klassifikation zu unterwerfen.

In Abb. 5 (oben) wird einem MOLA-DGM, das als Startwert dient, das Ergebnis nach 32 Iterationen (unten) im Bereich von Abb. 2 gegenübergestellt. Das Kraterinnere im östlichen Bereich der Abbildung wird bei Verwendung dieser Methode besser dargestellt als in Abb. 3 (unten). Bei Verwendung einer Toleranzbandhöhe von 30 m wurden 75 Prozent der HRSC-Objektpunkte akzeptiert. In diesem Ausschnitt sind 781 MOLA-Punkte vorhanden.



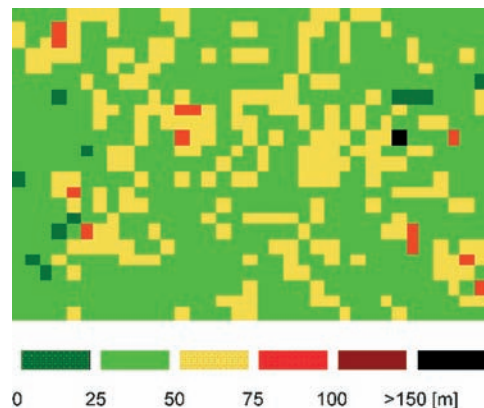
**Abb. 5:** Ausgangs-DGM aus MOLA-Spuren (oben), DGM aus den schließlich akzeptierten HRSC-Objektpunkten und MOLA-Spuren (unten) im Bereich von Abb. 2.

Vor allem im äquatornahen Bereich, wo die Abstände der MOLA-Spuren einige Kilometer betragen können (siehe auch Abb. 2, unten), ist diese Methode bei großen Datensätzen sehr langwierig. Da in einem Orbit eines HRSC-Bildes meist mehr als 20 Millionen Objektpunkte gematcht werden, kann man sich auch mit diesem Ansatz nicht zufrieden geben. Eine Steigerung der Effizienz ist durch die Zusammenführung beider Methoden zu erwarten, die im nächsten Abschnitt behandelt wird.

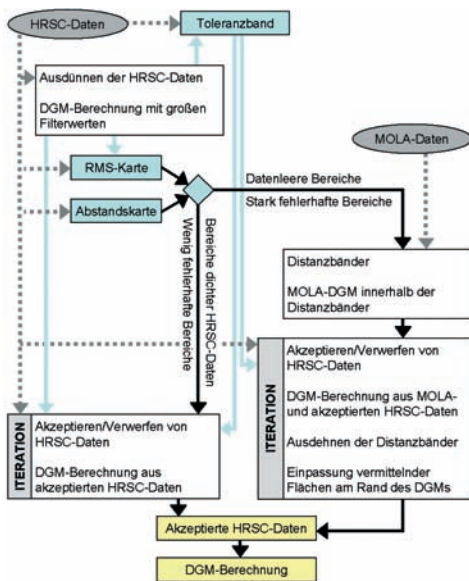
### 3.3 Zusammenführung beider Methoden

Die Zusammenführung der beiden zuvor beschriebenen Methoden setzt die Kenntnis der Lage problematischer Zonen in den HRSC-Objektpunkten, das sind im Wesentlichen datenleere Bereiche und Bereiche mit mehr als 50 Prozent grob fehlerhafter Daten, voraus. In diesen Gebieten kann die Klassifikation mit MOLA durchgeführt werden (3.2). Ansonsten genügt die Reduktion der Fehler ohne besondere Gewichtung der MOLA-Punkte (3.1).

Datenleere Bereiche können anhand von Punktabstandskarten (siehe Abb. 2) erfasst werden. Einen Überblick über potentielle Bereiche mit mehr als 50 Prozent fehlerhafter Daten gibt der RMS (root mean square error) der Abstände der HRSC-Objekt-



**Abb. 6:** RMS-Karte des in Abb. 2 dargestellten Bereichs.



**Abb. 7:** Blockdiagramm der beschriebenen Methode.

punkte von einem mit großen Filterwerten berechneten DGM aus dem ausgedünnten Datensatz (siehe 3.1, (1) und (2)). In Abb. 6 ist eine solche RMS-Karte dargestellt. Beim Vergleich mit Abb. 2 (oben) wird deutlich, dass in der Umgebung datenleerer Bereiche auch der RMS sehr groß ist, vor allem im Bereich der bei der Behandlung von Abb. 3 erwähnten Krater. Die Verwendung von Methode 3.2 wird nur in den Teilbereichen durchgeführt, wo datenleere Bereiche oder potentielle grobe Fehler erkannt werden. In allen anderen Gebieten wird Methode 3.1 durchgeführt. Der vollständige Ablauf ist in Abb. 7 dargestellt.

#### 4 Zusammenfassung und Ausblick

Die aus flächenbasiertem Matching stammenden HRSC-Objektpunkte beinhalten grob fehlerhafte Daten und teilweise Datenlöcher. Als Grundlage zur Berechnung hochwertiger DGMs können diese Daten deshalb nur bedingt verwendet werden. Daher wurden zwei iterativ anzuwendende Punktklassifizierungsmethoden entwickelt, die diese Einflüsse auf das DGM verringern.

Die erste Methode basiert auf einem groben HRSC-DGM als Ausgangsmodell und ermöglicht die Reduktion grob fehlerhafter Daten. Die zweite Methode verwendet ein grobes MOLA-DGM als Startwert und ermöglicht die Überbrückung von Datenlöchern. Um eine effiziente Vorgangsweise sicherzustellen, werden beide Methoden zu einem Ansatz zusammengefasst. Ergebnisse sind jeweils die akzeptierte und die verworfene Punktwolke und ein DGM aus den akzeptierten Daten. Die vorgestellten Methoden wurden bereits in mehreren Orbits getestet, wobei zuverlässige Ergebnisse erzielt wurden.

In weiterer Folge soll vor allem auf die Bestimmung der Größe des Toleranzbandes, die derzeit stark von Erfahrungswerten beeinflusst wird, verbessert werden. Da die HRSC-Datensätze aufgrund der verschiedenen Auflösung der Bildinformation sehr unterschiedlich sind, muss das Toleranzband aus dem jeweiligen Datensatz bestimmt werden. Es muss auch die Verteilung der Punkte aus Matching-Verfahren berücksichtigt werden. Je tiefer kleinstrukturierte Geländeformen im Vergleich zur Umgebung liegen, desto weniger Objektpunkte können innerhalb dieser Strukturen gematcht werden. Dies betrifft vor allem enge Flussläufe, die zusätzlich durch Schatten beeinflusst werden. Durch die Wahl einer größeren „unteren“ als „oberen“ Toleranz (etwa ein Drittel) im ersten Iterationsschritt kann dieses Problem gelindert werden.

Derzeit wird eine automatische Prozessierungskette zur Berechnung digitaler Geländemodelle aus HRSC-Daten entwickelt. Diese besteht aus der Verbesserung der Parameter der äußeren Orientierung (SCHMIDT et al. 2005 und SPIEGEL et al. 2005), der Ableitung der Objektpunkte (SCHOLTEN et al. 2005b), der in diesem Artikel beschriebenen Punktklassifizierung und der abschließenden DGM-Berechnung. Es handelt sich dabei um eine Zusammenarbeit der Universität Hannover und der Technischen Universität München und Wien sowie des DLR im Rahmen des Projekts „HRSC on Mars Express“.

## Danksagung

Die Autorin bedankt sich bei der österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (ehemals ASA) für die finanzielle Unterstützung des Projekts unter DOK.-Nr.: ASAP-CO-006/04 und bei Dipl.-Ing. FRANK SCHOLTEN vom DLR Berlin-Adlershof für das zur Verfügung stellen der Matching-Ergebnisse.

## Literatur

- ALBERTZ, J. et al.; Neukum, G. and the HRSC CoI-Team (2005): HRSC on Mars Express – Photogrammetric and Cartographic Research. – Photogrammetric Engineering & Remote Sensing (PE&RS), Journal of the American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS), im Druck.
- BORGEFORS, G., 1986: Distance transformation in digital images. – Computer Vision Graphics Image Processing **34** (3): 334–371.
- HOFFMANN, H., BEHNKE, TH., HAUBER, E., FLOHNER, J., MATZ, K.-D., PISCHEL, R., JAUMANN, R. & NEUKUM, G., 2003: Science Performance Budget for the HRSC on Mars Express. – Doc. No.: HRSC-DLR-BG-9000-010.
- KRAUS, K., 1997: Eine neue Methode zur Interpretation und Filterung von Daten mit schiefer Fehlerverteilung. – Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation (VGI) **85** (1): 15–30.
- KRAUS, K. & PFEIFER, N., 1998: Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser scanner data. – International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS), Journal of Photogrammetry and Remote Sensing **1998** (53): 193–203.
- KRAUS, K., 2000: Topographische Informationssysteme – Photogrammetrie Band 3., 1. Aufl., 419 Seiten, Dümmler Verlag, Bonn.
- NEUMANN, G. A., LEMOINE, F. G., SMITH, D. E. & ZUBER, M. T., 2003: The Mars Orbiter Laser Altimeter archive: Final precision experiment data record release and status of radiometry. – Lunar Planetary Science XXXIV, Lunar and Planetary Institute, Houston.
- SCHMIDT, R., HEIPKE, C., BRAND, R. et al., 2005: Automatische Bestimmung von Verknüpfungspunkten in HRSC-Bildern der Mars Express Mission. – Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation **2005** (5): 373–380.
- SCHOLTEN, F., GWINNER, K., ROATSCH, T., MATZ, K.-D., WÄHLISCH, M., GIESE, B., OBERST, J., JAUMANN, R. & NEUKUM, G., 2005a: Mars Express HRSC data processing – Methods and operational Aspects. – Photogrammetric Engineering & Remote Sensing (PE&RS), Journal of the American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS), im Druck.
- SCHOLTEN, F. et al., 2005: Von Rohdaten aus dem Mars Express Orbit zu Digitalen Geländemodellen und Orthobildern – Operationelle Verarbeitung von HRSC Daten. – Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation **2005** (5): 365–372.
- SPIEGEL, M., STILLA, U., GIESE, B. et al., 2005: Bündelausgleichung von HRSC-Bilddaten mit Mars Observer Laser Altimeter-Daten als Pansinformation. – Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation **2005** (5): 381–386.
- Mars Orbiter Laser Altimeter (MOLA): Science Investigation Site, NASA's Goddard Space Flight Center, USA. <http://ltpwww.gsfc.nasa.gov/tharsis/mola.html>, [http://www.wustl.edu/MarsGlobalSurveyor\(MGS\):JetPropulsionLaboratory,CaliforniaInstituteofTechnology,USA](http://www.wustl.edu/MarsGlobalSurveyor(MGS):JetPropulsionLaboratory,CaliforniaInstituteofTechnology,USA). <http://mars.jpl.nasa.gov/mgs>

### Anschriften der Autoren:

Dipl.-Ing. MARIA ATTWENGER  
Technische Universität Wien, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung  
Gußhausstraße 27–29, A-1040 Wien  
Tel.: +43-1-58801-12243, Fax: +43-1-58801-12299, e-mail: [ma@ipf.tuwien.ac.at](mailto:ma@ipf.tuwien.ac.at)

Prof. Dr. GERHARD NEUKUM  
Freie Universität Berlin, Institut für Geologische Wissenschaften/Planetologie  
Malteserstraße 74–100, D-12249 Berlin  
e-mail: [gneukum@zedat.fu-berlin.de](mailto:gneukum@zedat.fu-berlin.de)

Manuskript eingereicht: Juni 2005  
Angenommen: Juli 2005