

Universität Hannover

Fakultät für Bauingenieurwesen und Geodäsie

Institut für Photogrammetrie und GeoInformation

Studienarbeit

Orthophoto-Generierung mit Mars Express

Marc Schmitz 2292830

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. C. Heipke

Zweitprüfer: Dr.-Ing. K. Jacobsen

Betreuer: Dipl.-Ing. R. Schmidt

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	2
2	Mars Express Mission	3
2.1	Der Mars	3
2.2	Mars Express Mission	4
2.3	HRSC	5
3	HRSC-Datenprozessierung	6
3.1	Level 1	6
3.2	Level 2	6
3.3	Level 3	6
3.3.1	Orthophoto-Generierung	7
3.3.2	Vicar-Programm HRORTHO	7
3.4	Level 4	8
3.4.1	Bündelausgleichung / Äußere Orientierung	9
3.4.2	Bildzuordnung	10
3.4.3	Vicar-Programme Level 4	13
4	DGM-Erzeugung	14
4.1	MOLA-DGM	14
4.2	DGM-Prozessierung	14
4.2.1	Entzerrung	15
4.2.2	Matching (Bildzuordnung)	15
4.2.3	3D-Objektkoordinaten	16
4.2.4	DGM-Generierung	17
4.3	DGM-Vergleich	18
4.3.1	Grauwertvergleich	18
4.3.2	Graphischer (visueller) Vergleich	23
4.3.3	Zusammenfassung des DGM-Vergleichs	25
5	Orthophotoherstellung	26
5.1	Orthophoto-Generierung	26
5.2	Orthophoto-Mosaikierung	26
5.3	Kartenherstellung	26
5.4	3D Ansicht	26
6	Schlussbetrachtung und Ausblick	28
7	Literaturverzeichnis	29
8	Anhang	31
8.1	Anhang A	31
8.2	Anhang B	35
8.3	Anhang C	39
8.4	Anhang D	45

1 Einleitung

Orthophoto-Generierung mit MARS Express

Ziel der Studienarbeit war es, die gesamte Auswertekette zur Erzeugung und Generierung hochgenauer, farbiger Orthophotos für HRSC- (High Resolution Stereo Camera) Bilddaten der Mars Express Mission unter dem Bildprozessierungssystem VICAR (Video Image Communication and Retrieval) vom Deutschen Zentrum für Luft und Raumfahrt e. V. (DLR) nachzuvollziehen.

Als wesentlicher Bestandteil der Arbeit wurden aus drei benachbarten Streifen (h0894, h0905, h0927) der HRSC mit verschiedenen Parametereinstellungen Digitale Geländemodelle (DGMs) erzeugt und die entsprechenden Qualitätsunterschiede erfasst und dargestellt. Als Ausgangspunkt für die Äußere Orientierung bei der DGM-Generierung wurden sowohl die Äußere Orientierung der Mars Express Mission, als auch die verbesserte Äußere Orientierung aus der Bündelausgleichung vom Fachgebiet Photogrammetrie und Fernerkundung (FPF) der TU München (IPK, 2005; IPI, 2005) verwendet. Die Äußere Orientierung der Mars Express Mission setzt sich aus der 3D Lageposition der Orbit- und Lagedaten des Satelliten zusammen, die von der ESA durch Kombination von Doppler- und Entfernungsmessungen, Triangulation und einem Sternensensor fortlaufend bestimmt wird und daher auch als genäherte Äußere Orientierung in der klassischen Photogrammetrie betrachtet werden kann (HEIPKE, EBNER ET AL., 2004). Die verbesserte Äußere Orientierung aus der Bündelausgleichung soll dagegen eine Verbesserung der genäherten Äußeren Orientierung der HRSC gewährleisten. Die erzielten Ergebnisse wurden dem MOLA- (Mars Observer Laser Altimeter) DGM, das aus Altimeteraufnahmen gewonnen wurde und als Referenz-DGM diente, gegenübergestellt. Ebenso wurden die Ergebnisse mit unterschiedlicher Äußerer Orientierung untereinander verglichen. Als weiterer, zusätzlicher Schritt wurde unter Berücksichtigung des besten DGM-Ergebnisses ein hochgenaues und farbiges Orthophoto aus allen 3 Streifen generiert und daraus eine Karte als Endprodukt erstellt.

2 Mars Express Mission

2.1 Der Mars

Der Mars ist von der Sonne aus gesehen in unserem Sonnensystem der vierte Planet nach Merkur, Venus und der Erde. Er ist praktisch unser nächster Nachbar und der Erde am ähnlichsten von allen anderen Planeten. Ein Marstag ist zum Beispiel ungefähr genauso lang wie ein Erdttag. Im Vergleich zur Erde ist der Mars jedoch knapp nur halb so groß und besitzt nur knapp ein neuntel der gesamten Erdmasse. Er ist mit durchschnittlich 228 Mio. km weiter von der Sonne entfernt als die Erde. Dadurch ist die Temperatur auf dem Mars wesentlich kühler. Die Temperaturen können daher zwischen -133° und $+27^{\circ}$ schwanken (ESA, 2004). Die Atmosphäre selber besteht im wesentlichen zu ca. 95% aus Kohlendioxid. Seine rote Farbe hat er durch seinen hohen Eisenanteil. Seine ständigen Begleiter als Trabanten sind die Monde Phobos und Deimos.



Abb. 1 Mars, aufgenommen vom Hubble Teleskop

	Erde	Mars
Radius	6378 km	3396 km
Masse	5997000 MegaTonnen	641800 MegaTonnen
Rotationsdauer	ca. 24 Stunden	ca. 24 Std. 39 Min.
Umlaufdauer	365,25 Tage	687 Tage
Schwerkraft	1 g	0,38 g
Luftdruck (bei Höhe Null)	1013 hPa	6,1 hPa
Landfläche	144,9 Mio. m^2	148,3 Mio. m^2
Höchster Berg	Olympus Mons (27 km)	Mount Everest (8,8 km)
Monde	Mond	Phobos, Deimos

Tab. 1 Vergleich Erde – Mars (Quelle: KDS 2005)

2.2 Mars Express Mission

Die Mars Express Mission der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) ist am 2. Juni 2003 vom russischen Weltraumbahnhof Baikonur (Kasachstan) aus gestartet. Seit Dezember 2003 befindet sich die Sonde an ihrem Bestimmungsort und wird den Mars 2 Jahre lang (1 ganzes Marsjahr) umkreisen. Aus der Mission erhoffen sich die Wissenschaftler und Forscher neue und noch genauere Erkenntnisse über den roten Planeten in unserem Sonnensystem als bei den Vorgängermissionen Mariner, Viking, Pathfinder und zuletzt Global Surveyor 2001. Vor allen Dingen die Suche nach möglichen Spuren von Wasser und von früheren Leben macht diese Mission zu einem ehrgeizigen Projekt.

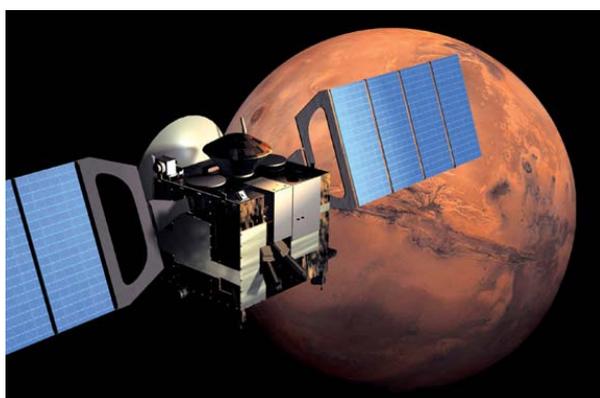


Abb. 2 Mars Express Mission

Ziel der Mission ist es, neue Daten zur Geologie, Mineralogie, Atmosphäre und Topographie des Planeten zu gewinnen. Dabei kommen mehrere Experimente in vielen wissenschaftlichen Disziplinen zum Tragen, an denen europäische, amerikanische und russische Institute beteiligt sind. Mars Express besteht im wesentlichen aus dem Satelliten (*Orbiter*), der den Mars umkreist und einer Marssonde (*Lander, Beagle 2*), die auf dem Mars landen soll. Beagle 2 ist Februar 2004 vermutlich auf der Marsoberfläche zerschellt. Der Satellit ist intakt und wird über das European Space Operations Centre (ESOC) in Darmstadt überwacht und gesteuert. Der Datenempfang wird über eine Empfangsstation in Australien (New Norcia) geregelt. Bei der Mars Express Mission ist Deutschland federführend mit der Hochleistungskamera HRSC, dem Mars Radio Science Experiment (MaRS) und dem Bohrer PLUTO auf der Sonde beteiligt. Zudem gibt es noch deutsche Beteiligungen an dem Planetary Fourier Spektrometer (PFS) und den Kameras der Sonde (DLR, 2005).

Mit der am Berliner DLR-Institut für Planetenforschung entwickelten Hochleistungskamera HRSC wird der Mars global, hochauflösend topographisch und morphologisch dreidimensional kartiert. Die maximale Bodenauflösung beträgt knapp 10 m. Die Prozessierung der Kameradaten wird durch weitere Institute, Institut für Photogrammetrie und Geoinformation (IPI) der Universität Hannover, Institut für Photogrammetrie und Kartographie der TU Berlin und das Fachgebiet Photogrammetrie und Fernerkundung (FPF) der TU München gewährleistet.

2.3 HRSC

Die HRSC ist ein sogenannter Zeilenscanner, d.h. die Kamera nimmt nur einzelne Zeilenelemente auf. Eine Zeile besteht aus 5184 lichtempfindlichen Zellen (CCDs), die nebeneinander angeordnet sind. Die Kamera besitzt insgesamt neun Zeilen, d.h. pro Auslesevorgang werden neun unabhängige Bildzeilen erzeugt. Die CCDs liegen senkrecht zur Flugrichtung und werden mit einer der jeweiligen Geschwindigkeit angepassten Frequenz ausgelesen. Das Resultat sind 9 Streifen, einer für jeden Kanal. Neben den gewöhnlichen 3 Farbkanälen (RGB) und dem nahen Infrarotkanal (NIR) sind noch 2 Stereokanäle (S), ein Nadirkanal (N) und 2 Photometrie-Kanäle (P) vorhanden (in den entsprechenden Winkeln $+18,9^\circ$ (S1) ; $+12,8^\circ$ (P1) ; 0 (ND); $-12,8^\circ$ (P2) ; $-18,9^\circ$ (S2), Abb. 3). Die Stereokanäle werden zur Ermittlung von 3D-Daten für ein digitales Geländemodell oder auch Digital Terrain Model (DTM) genutzt. Das Prinzip besteht darin, von einem Objekt eine Aufsicht, eine schräg von vorne und eine schräg von hinten schauende Ansicht zu bekommen. Aus den verschiedenen Blickwinkeln können dann mittels Stereoverfahren der Photogrammetrie 3D-Informationen gewonnen werden. Die beiden Photometrie-Kanäle liefern Daten für die physikalische Analyse der Marsoberfläche wie z.B. die Rauigkeit oder Korngrösse des Regoliths, also des vorwiegend aus Staub und Sand bestehenden Marsbodens (SRV, 2005).

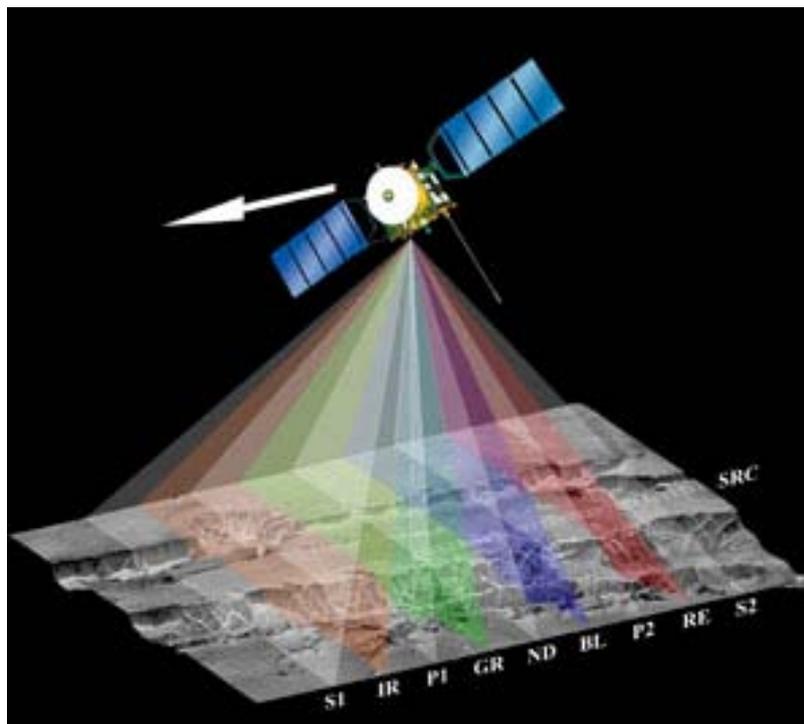


Abb. 3 Aufnahmetechnik der HRSC Kamera

Neben dem Zeilenscanner ist mit dem SRC-System ein CCD-Flächensensor mit einer Matrix von 1024 X 1032 Pixeln eingebaut. Dies entspricht bei einer Flughöhe des Satelliten von ca. 250 km über dem Mars einer Auflösung über Boden von ca. 2,3 m. Im Normalfall arbeiten die HRSC und die SRC simultan.

3 HRSC-Datenprozessierung

Wichtiger Bestandteil für die Gewinnung von raumbezogenen Daten der Marsoberfläche ist die HRSC-Datenprozessierung. Sie beinhaltet eine photogrammetrische Verarbeitungskette, die im Rahmen der Studienarbeit näher erläutert wird. Sie besteht aus 4 Produktstufen (Level).

3.1 Level 1

Die erste Stufe (Level 1) beinhaltet die Rohdaten-Bilder der HRSC, die vom Orbiter zur Erde gesendet und dekomprimiert werden.

3.2 Level 2

In der 2. Stufe (Level 2) werden die Daten radiometrisch kalibriert, so dass sie für die photogrammetrische Weiterverarbeitung genutzt werden können.

3.3 Level 3

In der 3. Stufe werden die Level 2 HRSC-Bilder geometrisch entzerrt und in so genannte Orthobilder umgewandelt. Dies wird mit dem Programm HRORTHO und FRAMEORTHO vollzogen. HRORTHO ist speziell für HRSC- und FRAMEORTHO für SRC-Bilddaten angelegt. Dabei fließen neben den Level 2 Bildern, die Äußere Orientierung aus den Orbit- und Lagedaten implementiert in den sogenannten Spice Kernel Daten, die als nominelle Orientierung angesehen werden kann, die Innere Orientierung aus den geometrischen Kalibrierdaten der Kamera und das MOLA-DGM (als Standard-DGM mit einer Auflösung von knapp 5 km; SCHOLTEN 2005) mit ein (Abb. 4). Für die Projektion wird entweder eine Mars-Kugel (Radius 3396 m) oder ein Mars-Ellipsoid z.B. das IAU 2000 Ellipsoid als Bezugssystem verwendet.

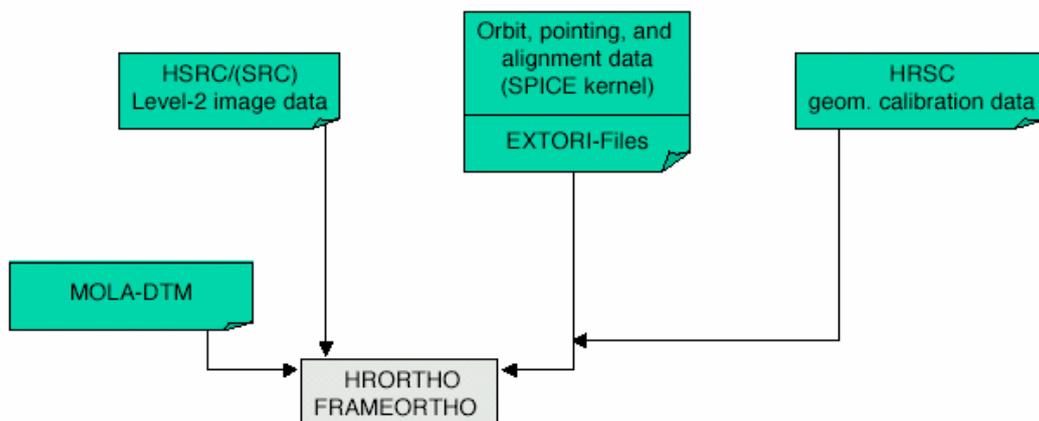


Abb. 4 HRSC-Datenprozessierung (Level 3)

3.4 Level 4

In der 4. Stufe ist es möglich neben dem Orthophoto auch zusätzlich digitale Geländemodelle und 3D Ansichten zu generieren. Bei den Standardprodukten wird dabei die nominelle Äußere Orientierung benutzt. Jedoch reicht die nominelle Äußere Orientierung für eine hochgenaue photogrammetrische Punktbestimmung nicht aus. (HEIPKE, EBNER ET AL., 2004). Daher werden die Werte der Äußeren Orientierung als Näherungswerte betrachtet und durch eine Bündelausgleichung (HWBUNDLE) verbessert. In der Bündelausgleichung werden aus einer digitalen Bildzuordnung (HWMATCH1) gewonnene Verknüpfungspunkte verwendet und die Innere als auch die genäherte Äußere Orientierung und das MOLA-DGM benutzt. Das erzielte Ergebnis ist eine verbesserte Äußere Orientierung. Nun ist es möglich in den weiteren Schritten aus Level 2 HRSC-Bildern hochwertig abgeleitete DGMs, Orthophotokarten und 3D-Ansichten zu erstellen.

Bei der DGM-Erzeugung werden zunächst die Level-2 Stereokanäle (Nadirkanal, Stereokanäle 1 und 2) mit der Inneren Orientierung, der verbesserten Äußeren Orientierung aus der Bündelausgleichung und dem MOLA-DGM mit dem Programm HRORTHO analog zu Level 3 entzerrt und in Orthobilder umgewandelt. Aus diesen Orthobildern werden über eine zweite Bildzuordnung (DLRMATCH2) in Stereo-Modellen identische Verknüpfungspunkte gesucht und anschließend in Level 2 Koordinaten wieder umgewandelt (DLRDEMAT). Mit dem Programm HROBJ werden mit Hilfe der Level 2 Stereokanäle, der Äußeren Orientierung und den Bildkoordinaten 3D Objektpunkte generiert und in DLRDTM in Rasterform zum DGM interpoliert. Das erstellte, genauere DGM wird nun benutzt, um genauere, farbige Orthobilder aus den RGB-Kanälen und dem NIR-Kanal zu erzeugen. Dafür werden die Kanäle ebenfalls wie die Stereokanäle wieder mit Programm HRORTHO in Orthobilder umgewandelt. Die Orthobilder können dann mit dem Programm DLRMOSAIC zu größeren Bildverbänden zusammengefügt (mosaikiert) werden. Mit DLRMAPTRAN können Ausschnitte bearbeitet und Projektionen verändert werden.

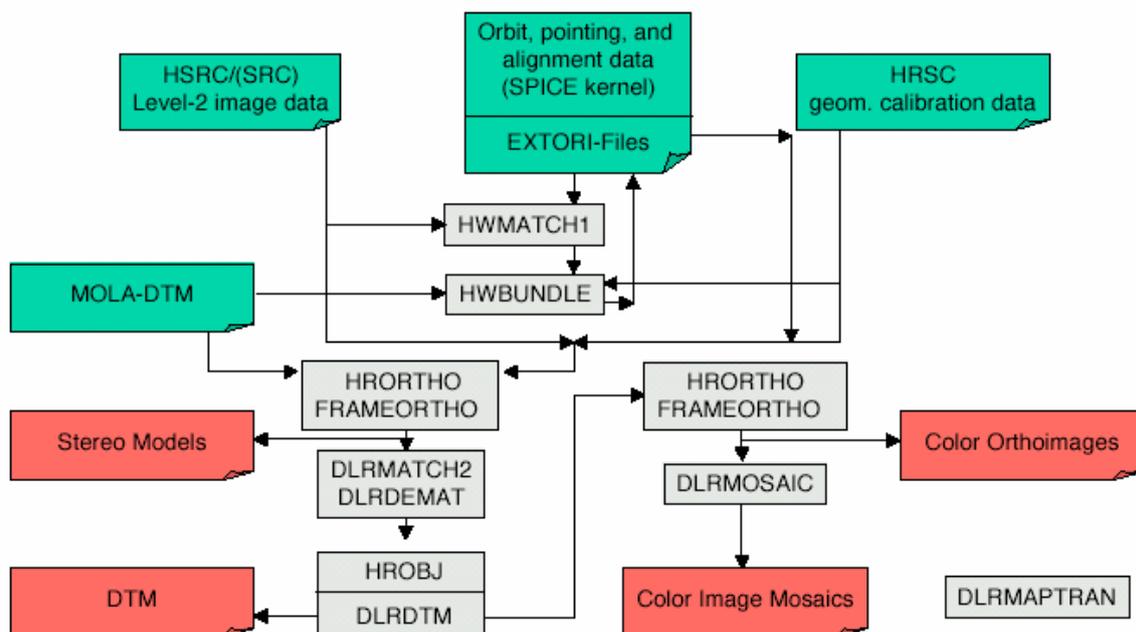


Abb. 6 HRSC-Datenprozessierung (Level 4, Quelle: Scholten 2005)

3.4.1 Bündelausgleichung / Äußere Orientierung

In der Bündelausgleichung wird in einem Rechenprozess nach dem Ausgleichsmodell der kleinsten Quadrate nach Gauß der direkte mathematische Zusammenhang (einstufiger Auswerteprozess) zwischen Bild- und den Objektkoordinaten über die so genannten Kollinearitätsgleichungen (1) und (2) hergestellt.

$$\xi_i = \xi_0 - c \frac{r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)} \quad (1)$$

$$\eta_i = \eta_0 - c \frac{r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)} \quad (2)$$

ξ_i, η_i = Bildkoordinaten, $X_0, Y_0, Z_0, \varphi, \omega, \kappa$ = Parameter der Äußeren Orientierung

ξ_0, η_0, c = Parameter der Inneren Orientierung, X_i, Y_i, Z_i = Objektkoordinaten

Die Bildkoordinaten ξ_i, η_i und das zugehörige Projektionszentrum O definieren ein so genanntes räumliches Strahlenbündel (Abb. 7). Die äußeren Orientierungselemente dieses Strahlenbündels sind gesucht und können dabei für alle Bilder gleichzeitig bestimmt werden. Als Informationen stehen dafür die Bildkoordinaten von Verknüpfungspunkten, die in mehreren Bildern vorkommen und die Bild- und Objektkoordinaten von Passpunkten und die Innere Orientierung des Bildes zur Verfügung. Die Strahlenbündel werden dann praktisch durch die äußeren Orientierungselemente verschoben (3 Translationen) und gedreht (3 Drehwinkel) bis die entsprechenden Strahlen an den Verknüpfungspunkten möglichst gut zum Schnitt kommen und mit den Passpunkten möglichst gut zusammentreffen (KRAUS, 1994). Somit sind 6 Parameter pro Bild zu bestimmen. Das bedeutet, es werden mindestens 3 Passpunkte pro Bild benötigt. Bei wenig oder nicht verfügbaren Passpunkten, wie beim MOLA-DGM, lässt sich eine höhere Genauigkeit durch eine große Anzahl an Verknüpfungspunkten realisieren.

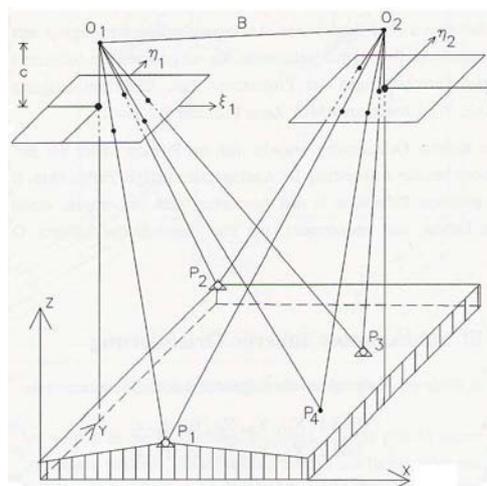


Abb. 7 Strahlenschnitt bei 2 Bildern

Da es sich bei der HRSC um einen 3-Zeilenscanner handelt, sind für die Bündelausgleichung erweiterte Kollinearitätsgleichungen (3) notwendig (EBNER ET AL., 1994).

$$\begin{pmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ -c \end{pmatrix} = \lambda * M^T * (\Delta\varphi, \Delta\omega, \Delta\kappa) * D^T * (\varphi, \omega, \kappa) * \begin{bmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} X_0 + \Delta X_0 \\ Y_0 + \Delta Y_0 \\ Z_0 + \Delta Z_0 \end{pmatrix} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Die Äußere Orientierung der Kamera ist durch $X_0, Y_0, Z_0, \varphi, \omega, \kappa$ und die Innere Orientierung durch Bildhauptpunkt ξ_0, η_0 und Kamerakonstante c definiert. Die Transformation zwischen Bild- und Kamerakoordinaten ist durch $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z, \Delta\varphi, \Delta\omega, \Delta\kappa$ gegeben. D ist die Rotationsmatrix vom Objekt- zum Kamerakoordinatensystem, während M die Drehung vom Kamera- zum Bildkoordinatensystem berücksichtigt mit λ als Maßstab. X, Y, Z sind die Kamera- und x, y die Bildkoordinaten. Genauere Ausführungen sind in KORNUS (1999) wiedergegeben.

Die Bündelausgleichung in der Prozesskette benutzt das Konzept von HOFMANN ET AL. (1982). In diesem Konzept werden die Parameter der Äußeren Orientierung nur an wenigen ausgewählten Bildzeilen, den so genannten Orientierungsbildern, bestimmt (SPIEGEL ET AL., 2003). Dabei wird aus den Werten der Orientierungsbilder die Äußere Orientierung aller anderen Bildzeilen interpoliert. Dadurch bleibt die Anzahl der Orientierungsparameter niedrig und die relative Genauigkeit der Orientierungsparameter wird berücksichtigt (HEIPKE, EBNER ET AL., 2004).

3.4.2 Bildzuordnung

Bildzuordnung oder auch Matching genannt ist die Zuordnung von kleinen Bildausschnitten, die identischen Grauwertstellen entsprechen, in zwei Bildpaaren oder sogar Bildverbänden zur Erfassung der 3. Dimension und zur Bildtriangulation. Das Digital Image Matching (DIM) ist die automatische Generierung von identischen, Punkten, Kanten in 2 oder mehr Bildpaaren. Dabei gibt es 2 Hauptmethoden: die Area Based und die Feature Based Methode.

Area Based Methode

Die Area Based Methode basiert auf identische Grauwertflächen, die miteinander in den Bildern verglichen werden. Sie umfassen in der Regel eine quadratische Mustermatrix (*Template*) von $3 \times 3, 5 \times 5$ oder 7×7 Pixeln, die in dem anderen Bild gesucht wird. Dafür wird eine größere Suchmatrix definiert und diese stückweise in der Mustermatrix (*Search window*) verglichen (Abb. 8).

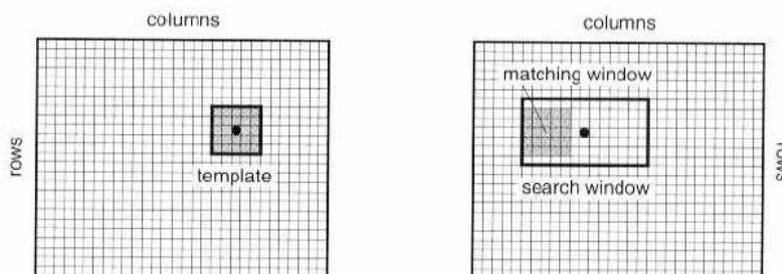


Abb. 8 Area based image matching

Um den Suchbereich in dem zweiten Bild näherungsweise zu bestimmen, wird die Epipolargeometrie ausgenutzt. Die beiden Projektionszentren und der gemeinsame Punkt definieren eine Ebene. Beim Schnitt der Ebene mit den beiden Bildern entsteht eine Linie, die Epipolarlinie, auf der sich der Punkt befinden muss. Um die Suche zu erleichtern wird die Kollinearitätsbeziehung ausgenutzt. Dabei wird der Punkt mit Hilfe der Kollinearitätsgleichung zunächst näherungsweise in 3D Objektkoordinaten transformiert und anschließend in das 2. Bild in Bildkoordinaten zurücktransformiert. Das Problem bei der Transformation in Objektkoordinaten ist die Höhe Z (4) und (5). Sie muss auch näherungsweise bekannt sein, z.B. in Form eines DGM's.

$$X = X_0 + (Z + Z_0) \frac{r_{11}(\xi - \xi_0) + r_{12}(\eta - \eta_0) + r_{13}c}{r_{31}(\xi - \xi_0) + r_{32}(\eta - \eta_0) + r_{33}c} \quad (4)$$

$$Y = Y_0 + (Z + Z_0) \frac{r_{21}(\xi - \xi_0) + r_{22}(\eta - \eta_0) + r_{23}c}{r_{31}(\xi - \xi_0) + r_{32}(\eta - \eta_0) + r_{33}c} \quad (5)$$

r_{11}, \dots, r_{33} = Elemente der Rotationsmatrizen mit φ, ω, κ

a.) Kreuzkorrelationskoeffizient

Als Maß für die Ähnlichkeit der Mustermatrix im Suchbereich in 2 oder mehreren Bildern ist der sogenannte Kreuzkorrelationskoeffizient (Cross correlation coefficient). Er wird aus den Standardabweichungen σ_1, σ_2 der Grauwerte g_1 und g_2 der beiden Bilder sowie aus der Kovarianz σ_{12} zwischen den Grauwerten der beiden Bilder mit der Formel (6) berechnet (KRAUS, 1994).

$$r = \frac{\sigma_{12}}{\sigma_1 * \sigma_2} = \frac{\sum (g_1 - \bar{g}_1) * (g_2 - \bar{g}_2)}{\sqrt{\sum (g_1 - \bar{g}_1)^2 * \sum (g_2 - \bar{g}_2)^2}} \quad \text{mit } -1 \leq r \leq 1 \quad (6)$$

\bar{g}_1, \bar{g}_2 = arithmetische Mittelwerte der Grauwerte Mustermatrix und der Suchmatrix

Der Kreuzkorrelationskoeffizient ist definiert zwischen -1 und +1. Bei +1 ist das Maß für die Übereinstimmung am größten bei 0 am kleinsten. Bei -1 liegt ein umgekehrter funktionaler Zusammenhang vor. Ein guter Vergleichswert liegt zwischen 0,6 und 1.

b.) Least Square Matching

Das Least Square Matching ist eine Erweiterung der Kreuzkorrelation. Hierbei wird explizit noch die Blickrichtung und die Geländeneigung mit berücksichtigt. Es wird wie bei der Kreuzkorrelation ein Ausschnitt aus einem der auszuwertenden Bilder als Referenzbild vorgegeben. Dabei wird angenommen, dass das betrachtete Oberflächenelement als differentiell kleine Ebene und die extrem schmalwinklige Perspektive des Elements als Parallelprojektion angesehen werden kann. (KRAUS, 1996). Die Parameter werden mit Hilfe von guten Näherungswerten in Form einer Ausgleichung nach Methode der kleinsten Quadrate nach Gauß bestimmt.

Feature Based Methode

Bei der Feature Based Methode werden anstatt Muster- und Suchmatrizen ganze Merkmale (Features) als Objekte verwendet. Dabei wird zwischen Punkten, Kanten (Linien) und Regionen unterschieden. Die Merkmale werden aus den Grauwerten extrahiert, indem die Differenzen benachbarter Grauwerte gebildet werden.

Matching-Strategie

Für die Korrelationssuche beim Matching gibt es 2 typische Strategien, die in der Regel auch miteinander kombiniert werden, die Interest-Operatoren und die Bildpyramiden.

Bei den Interest-Operatoren werden durch Differenzbildung der Grauwerte vorweg interessante Bildbereiche für eine gute Korrelation ausgewählt und ein Texturmaß gewonnen. Durch eine Gegenüberstellung dieses Maßes mit einem vorgegebenen Schwellenwert ist eine Klassifizierung des Bildes in Abhängigkeit von der Korrelationsqualität möglich (KRAUS, 1994).

Bei den Bildpyramiden wird durch die sogenannte „Coarse to fine“ (vom Groben ins Feine) – Strategie das Matching-Ergebnis schrittweise verbessert, d.h. zunächst wird eine grobe Näherung für den Suchbereich angenommen, die dann nach jedem neuen Iterationsschritt verfeinert wird. Die Auflösung der Bilder und die Genauigkeit der Interpolation steigt nach jedem neuen Iterationsschritt (Abb. 9).

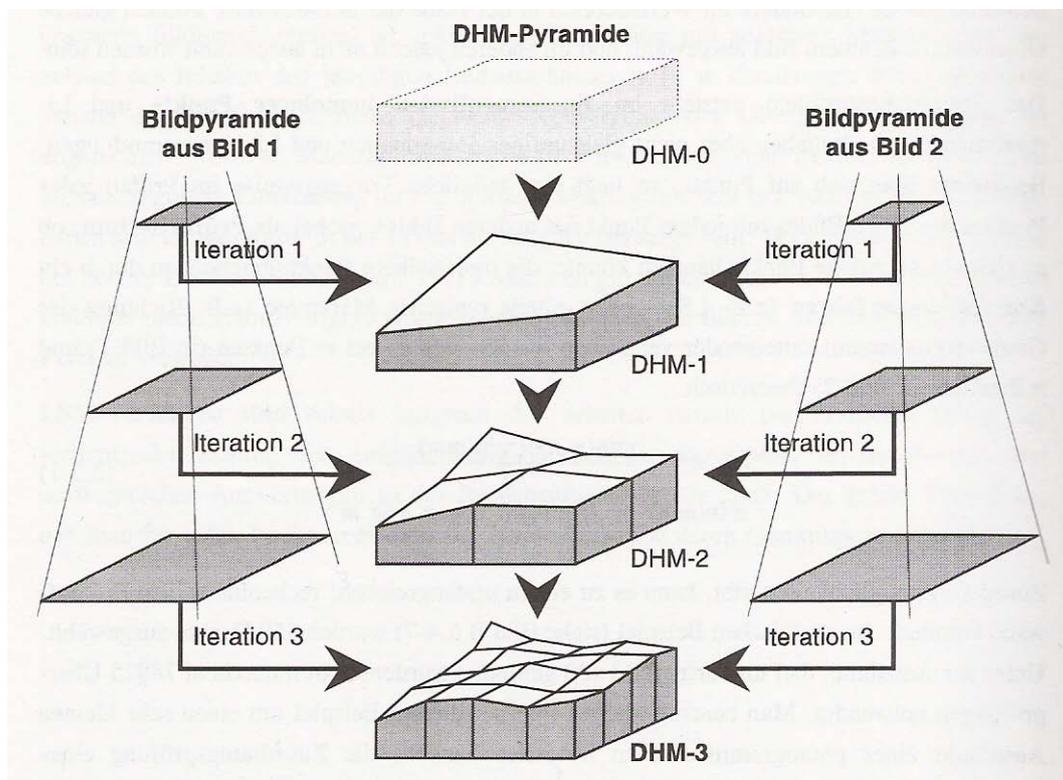


Abb. 9 Coarse to Fine – Strategie bei einem DGM

3.4.3 Vicar-Programme Level 4

HWMATCH1

In dem vom IPI erstellten Matching-Programm HWMATCH1 wird die Feature Based Methode verwendet. Dabei werden durch den Förstner-Operator zunächst Punktmerkmale extrahiert und das Bild in Unterbereiche gegliedert, um eine gleichmäßige Verteilung der Punkte zu gewährleisten (HEIPKE, EBNER ET AL., 2004). Durch die „Coarse to fine“- Strategie wird bei niedriger und mittlerer Auflösung das Feature Based Matching (FBM) durchgeführt. Bei höherer Auflösung wird dann durch das Multi Image Least Square Matching (MILSM) das Ergebnis im Subpixelbereich verfeinert. Das Merkmal wird dabei von einem Bild ins andere Bild mit Hilfe der Kollinearitätsgleichung (3) durch die Parameter der Inneren und der genäherten Äußeren Orientierung und dem MOLA-DGM als Höheninformation transformiert, da aufgrund der Geometrie bei Zeilensensoren keine Epipolargeometrie existiert, um den Suchbereich einzugrenzen (HEIPKE, EBNER ET AL., 2004).

DLRMATCH2

Beim DLRMATCH2 vom DLR wird im Gegensatz zu HWMATCH1 die Area Based Methode angewendet. Auch hier kommt die „Coarse to fine“- Strategie zum Tragen. Dabei werden maximal 4 Pyramidenlevel angesetzt. Als Matching Algorithmus wird dabei sowohl ein Kreuzkorrelations-Algorithmus (Pmk-Koeffizient) für die Pixelgenauigkeit, als auch die Least Square Methode (Lsm-Koeffizient) für die Subpixelgenauigkeit eingesetzt (WEWEL, 1997). Die Größe der Suchmatrix wird mit Line_Scopes (Reihe) und Sample_Scopes (Spalte) angegeben. Die beiden Koeffizienten können manuell über einen Minimalwert, der gelten soll, vom Anwender verändert werden (Minpmk, Minlsm).

HROBJ

Mit dem Programm HROBJ werden über einen räumlichen Vorwärtsschnitt mit Hilfe der Parameter der Äußeren Orientierung die generierten Bildkoordinaten der Matchingpunkte in 3D Objektkoordinaten umgewandelt. Bei maximal 3 Stereokanälen kann ein Punkt maximal durch 3 und minimal durch 2 Strahlen bestimmt werden. Die Genauigkeit in der Lage der bestimmten Strahlenpunkte wird in einer Textdatei wiedergegeben.

DLRDTM

Im Programm DLRDTM werden die 3D Objektkoordinaten in ein festgelegtes Raster interpoliert und auf einen Referenzkörper projiziert. Für die Interpolation steht ein Mittelwert- (Mean) und ein Zentralwert-Filter (Median) zur Verfügung, die bei der Interpolation entsprechend nur die Mittelwerte, oder die Zentralwerte der Filtermatrix berücksichtigen. Als Standardeinstellungen können der Interpolationsradius, in dem Grauwerte berücksichtigt werden sollen und der Punktraum in der Umgebung, wo zwingend Grauwerte gegeben sein müssen, verändert werden.

4 DGM-Erzeugung

Im Rahmen der Studienarbeit standen für die DGM-Erzeugung mit verschiedenen Parametereinstellungen 3 Streifen aus unterschiedlichen Orbits (h0894, h0905, h0927) zur Verfügung. Für die DGM-Erzeugung wurden alle 3 Streifen gewählt. Die Prozessierung ist für einen Streifen in Kapitel 4.2 exemplarisch beschrieben worden. Die beiden anderen Streifen wurden in jedem Arbeitsschritt analog dazu bearbeitet. Die Eingabe für die einzelnen Prozessierungsschritte erfolgte in der Kommandozeile. Ein Musterskript für alle Prozessierungsschritte liegt im Anhang A vor.

4.1 MOLA-DGM

Das MOLA-DGM ist aus Altimeteraufnahmen des Mars Global Surveyor (MGS) gewonnen. Dabei wird die Marsoberfläche über ausgesandte Mikrowellenimpulse im Radarfrequenzbereich über eine Antenne abgetastet. Die reflektierten Signale an der Marsoberfläche werden wieder empfangen und über Laufzeitmessung dann die Höhe des Satelliten und dadurch die Höhe der einzelnen Punkte bestimmt. Die ermittelten Höhen beziehen sich auf eine definierte Kugel als Referenzkörper, die MOLA-Kugel mit einem Radius von 3396 m. Der Radarimpuls beleuchtet auf dem Mars eine Flächengröße (*Footprint*) von annähernd 160 m (OBERST ET AL., 2004) entlang der Spur (*Tracks*) des Satelliten auf der Marsoberfläche. Die Erfassung der Oberfläche ist an den Polen wesentlich dichter, als am Äquator aufgrund der polnahen Satellitenbahn. Daher kann es am Äquator zu Lücken von bis zu einigen Kilometern kommen. Somit ist eine homogene Punktverteilung der gesamten Marsoberfläche nicht gegeben und die fehlenden Bereiche müssen interpoliert werden. Die optimalen Rasterweite am Äquator beträgt z.B. 463 m, was noch relativ grob ist. Jedoch zeichnet sich das DGM durch eine hohe Einzelpunkt- und Absolutgenauigkeit aus. Die Höhengenaugigkeit schwankt z.B. nur zwischen 0,5 und 1,5 m (SMITH ET AL., 2001; NEUMANN ET AL., 2003).

Das MOLA-DGM (megr_0.463) stand mit gesamter Marsbedeckung zur Verfügung. Für die Untersuchung im Bezug auf die Streifen reichte jedoch ein kleiner rechteckiger Ausschnitt (Tab. 2) aus, der alle 3 Streifen ausreichend umschließt. Der Ausschnitt wurde mit dem Programm DLRMAPTRAN extrahiert.

	Breite [°]	Östl. Länge [°]
Max.	20	320
Min.	-10	300

Tab. 2 gewählter Ausschnitt vom gesamten MOLA-DGM

4.2 DGM-Prozessierung

In Vorbereitung für die Prozessierung und DGM-Generierung wurden zunächst die Ausgangsdaten, die Level 2 Stereokanäle (Nadir, S1 und S2) mit dem Programm DLRT08 von 16 Bit auf 8 Bit reduziert, weil die Grauwerte der verfügbaren Bilder eigentlich im 8 Bit-Bereich (0 – 255) vorliegen und somit Speicherplatz eingespart und Rechenzeit verkürzt werden konnte.

4.2.1 Entzerrung

Für die geometrische Entzerrung wurden sowohl die Orientierungsdateien der nominellen Äußeren Orientierung aus den Orbitdaten mit der Endung .ext, als auch die Orientierungsdateien der verbesserten Äußeren Orientierung mit der Endung ext_a benutzt, um auch Qualitätsunterschiede zwischen den beiden Orientierungen zu untersuchen. Es wird angenommen, dass mit der verbesserten Äußeren Orientierung letztendlich auch genauere Ergebnisse erzielt werden können und die erzeugten DGMs sich dem MOLA-DGM besser anpassen.

Dafür wurden die reduzierten 8 Bit Stereokanäle mit den Parametern der Inneren, der jeweiligen Äußeren Orientierung und dem MOLA-DGM mit HRORTHO geometrisch entzerrt. Als Standardreferenzkörper wurde jeweils die MOLA-Kugel mit einem Radius von 3396 m und als Standardkartentyp Sinusoidal gewählt. Der Punktabstand bei der differentiellen Entzerrung (Anch_dist) wurde beim Nadirbild mit 8 und in den Stereokanälen mit 4 Pixel aufgrund der unterschiedlichen Auflösung der Kanäle angegeben. Für die Resampling-Methode wurde die Standardeinstellung Bilinear Interpolation beibehalten. Als Kartenmaßstab wurden 100 Meter pro Pixel gewählt, weil diese Auflösung als Standardauflösung im Tutorial des DLR (Scholten, 2005) benutzt wird und im Rahmen der Studienarbeit darauf eingegangen wurde. Im Normalfall ist es empfehlenswert die maximale Auflösung 25 m bei den Stereokanälen auszunutzen.

4.2.2 Matching (Bildzuordnung)

Beim Matching-Vorgang zur DGM-Erzeugung wurde als Parametereinstellung hauptsächlich der minimale Kreuzkorrelationskoeffizient (Minpmk) geändert. Dieser ist als Mindestmaß für die Grauwertübereinstimmung in zwei oder mehreren Bildern mit 0,4 als Standardeinstellung im Programm relativ niedrig angesetzt. Hierbei galt es zu untersuchen, ob mit einer Erhöhung auf 0,6 nicht bessere Ergebnisse zu erzielen sind. Die Vermutung ist, dass dadurch zwar weniger Verknüpfungspunkte generiert, aber dafür qualitativ bessere Punkte beibehalten werden und sich dadurch auch die Rechenzeit verringert. Ebenso wird angenommen, dass die Genauigkeit insgesamt verbessert werden kann.

Für das eigentliche Matching wurden jeweils die generierten Stereobilder mit den entsprechenden Orientierungsparametern genommen und in allen 3 Bildern automatisch nach identischen Punkten gesucht und eine sogenannte Verknüpfungspunktdatei (Tpf) erstellt (Tab. 3). Die Verknüpfungspunkte wurden anschließend mit dem Programm DLRDEMAT anhand der Level 2 Bilder in Level 2 Bildkoordinaten umgewandelt.

Datei	Matching	Äußere Orientierung	Minpmk [/]
Tpf_04_h0894	A	Nominelle Äußere Orientierung	0,4
Tpf_06_h0894	B	Nominelle Äußere Orientierung	0,6
Tpf_a_04_h0894	C	Verbesserte Äußere Orientierung	0,4
Tpf_a_06_h0894	D	Verbesserte Äußere Orientierung	0,6

Tab. 3 Verknüpfungspunktdateien mit unterschiedlichen Einstellungen

4.2.3 3D-Objektkoordinaten

Für die nachfolgende DGM-Erzeugung wurden zunächst die erzeugten Level 2 Bildkoordinaten mit dem Programm HROBJ anhand der entsprechenden Äußeren Orientierung in einem räumlichen Vorwärtsschnitt in 3D Objektpunkte umgewandelt. Als Kriterium wurde die Suche in mindestens zwei Bildern (Minimg) angegeben, d. h. es wurden neben 3 Strahlenpunkten auch noch 2 Strahlenpunkte berücksichtigt. Die erzielte Lagegenauigkeit, sowie die Anzahl der Matching- und Objektpunkte ist in der HROBJ.doc-Datei (Anhang B) wiedergegeben. Neben den Werten aus der Datei wurde auch die Matching-Dauer aus dem Rechenprozess in der Kommandozeile (Anhang C) wiedergegeben (Tab. 4-6).

Streifen h0894

Matching	MP	OP	MLP [m]	ML2SP [m]	ML3SP [m]	MD [min.]
A	1296692	1279524	176.95	510.13	103.38	71
B	1240699	1223681	134.39	346.83	89.77	50
C	1299839	1282175	122.38	461.94	49.76	73
D	1250340	1232863	78.83	294.91	35.33	50

Tab. 4 Ergebnisse aus HROBJ.doc für Streifen h0894

Streifen h0905

Matching	MP	OP	MLP [m]	ML2SP [m]	ML3SP [m]	MD [min.]
A	1635316	1623101	157.29	729.73	83.34	66
B	1577492	1565495	116.12	468.26	70.07	56
C	1665099	1652873	112.77	684.50	41.57	67
D	1626886	1614880	71.35	423.38	28.09	53

Tab. 5 Ergebnisse aus HROBJ.doc für Streifen h0905

Streifen h0927

Matching	MP	OP	MLP [m]	ML2SP [m]	ML3SP [m]	MD [min.]
A	1361472	1348967	153.70	225.64	104.50	57
B	1285321	1272976	116.87	164.39	84.69	48
C	1416097	1404086	114.83	184.28	67.27	54
D	1369553	1357679	76.31	121.46	45.64	45

Tab. 6 Ergebnisse aus HROBJ.doc für Streifen h0927

MP = Anzahl der Matching-Punkte
 OP = Anzahl der 3D Objektpunkte
 MLP = Mittlerer Lagefehler aller Punkte
 ML2SP, ML3SP = Mittlerer Lagefehler 2 Strahlen-Punkte, 3 Strahlen-Punkte
 MD = Matching-Dauer

Analyse der Matching Parameter

Durch die Veränderung des minimalen Kreuzkorrelationskoeffizienten (Minpmk) vom Standardwert 0,4 auf 0,6 steigt unter Berücksichtigung der nominellen und verbesserten Äußeren Orientierung in allen drei Streifen die Genauigkeit in der Lage, sowohl gesamt, als auch bei den 2 und 3 Strahlenpunkten. Die Erhöhung des Koeffizienten bewirkt somit durch einen Faktor von durchschnittlich 0,7 eine deutlich bessere Gesamtgenauigkeit. Beim Matching werden auch weniger Punkte generiert. Die Matching-Dauer kann ebenso verkürzt werden (maximal um 23 Minuten). Die Differenz der Matchingpunkte bei unterschiedlichem Minpmk-Wert ist aber mit durchschnittlich 3% relativ gering.

Die Verwendung der verbesserten Äußeren Orientierung macht sich bei Bestimmung der Objektkoordinaten auch deutlich bemerkbar. Es wird im Vergleich zum Matching mit der nominellen Orientierung eine viel höhere Lagegenauigkeit bei allen Punktarten erreicht (auch ca. Faktor 0,7 für Gesamtgenauigkeit), erst recht mit Anhebung des Minpmk-Wertes (ca. Faktor 0,5 zwischen Matching A und Matching D).

Die Lagegenauigkeit der 2 Strahlenpunkte ist deutlich ungenauer, als die der 3 Strahlenpunkte (besonders beim Streifen h0905). Dies ist auch aufgrund der Redundanz nicht verwunderlich. Sie schwankt jedoch deutlicher als bei den 3 Strahlenpunkten. Grund dafür ist die Anzahl der 2 Strahlenpunkte. Im Streifen 0927 sind mit knapp 40% die meisten Punkte generiert worden (siehe Anlage B). Sie sind daher im Vergleich zu den anderen Streifen auch nur knapp doppelt so schlecht.

Es bleibt festzuhalten, dass in allen Streifen durch die Erhöhung des minimalen Kreuzkorrelationskoeffizienten von 0,4 auf 0,6 und die Verwendung der verbesserten Äußeren Orientierung deutliche Verbesserungen in der Lagegenauigkeit in allen 3 Streifen auftreten und sich beim mittleren Punktfehler (MLP) in allen Matching-Varianten trotz unterschiedlicher Genauigkeit zwischen den 2 und 3 Strahlenpunkten in den einzelnen Streifen ähnlich verhalten. Bei einem Minpmk-Wert von 0,6 und verbesserter Orientierung kann der mittlere Punktfehler durchschnittlich um die Hälfte halbiert werden.

4.2.4 DGM-Generierung

Im nächsten Schritt wurden die einzelnen DGMs mit dem Programm DLRDTM erzeugt. Dabei wurden sowohl jeweils alle drei Streifen zusammen genommen und ein gesamtes DGM (Gesamt-DGM), als auch die Streifen einzeln (DGM h0894, DGM h0905, DGM h0927) generiert. Als Referenzsystem wurde wieder die MOLA-Kugel mit dem Radius von 3396 m, als Kartenprojektion wieder Sinusoidal und als Kartenmaßstab 200 m pro Pixel gewählt, weil eine Generierung 1 zu 1 mit 100 m nicht gegeben ist und die Genauigkeit des mittleren Punktfehlers über 100 m liegt.

Als Interpolationsart (Int_met) wurde Mean gewählt, weil dieser Filter nach dem Vicar-Tutorial (Scholten, 2005) besonders gut für nicht urbane Gebiete geeignet sein soll. Dies ist auf dem Mars definitiv auch der Fall. Der Interpolationsradius wurde mit 4 Pixel und die Pixelanzahl in der Radiusumgebung mit 20 Pixel, die mit Grauwerten berücksichtigt werden sollen, angegeben. Für einen Vergleich der generierten DGMs mit dem Referenz-MOLA-DGM wurde dieses jeweils an das generierte DGM mit dem Befehl *fittofile* angepasst, d.h. die Bildgröße (Pixelanzahl in Zeile und Spalte), die Auflösung, der Kartentyp und die Kartenprojektion wurden im MOLA-DGM aus den generierten DGMs übernommen.

4.3 DGM-Vergleich

Die erzeugten DGMs wurden nun mit dem MOLA-Referenz-DGM verglichen. Dafür wurde jeweils das erzeugte DGM vom angepassten MOLA-DGM mit dem Programm DIFPIC abgezogen. Somit lassen sich Höhenunterschiede in Form von Grauwertunterschieden am besten dokumentieren. Ebenso wurden die Bilder mit den unterschiedlichen Orientierungsparametern jeweils voneinander abgezogen (Tab. 7 exemplarisch dargestellt für das Gesamt-DGM).

Bild 1 (Referenzbild)	Bild 2	Differenzbild
Megr_0.463_04_gesamt	Dtm_ext_04_gesamt	Difdtm A
Megr_0.463_06_gesamt	Dtm_ext_06_gesamt	Difdtm B
Megr_0.463_a_04_gesamt	Dtm_ext_a_04_gesamt	Difdtm C
Megr_0.463_a_06_gesamt	Dtm_ext_a_06_gesamt	Difdtm D
Dtm_ext_06_gesamt	Dtm_ext_a_04_gesamt	Difdtm X
Dtm_ext_06_gesamt	Dtm_ext_a_06_gesamt	Difdtm Y

Tab. 7 erzeugte DGMs mit unterschiedlichen Einstellungen

4.3.1 Grauwertvergleich

Um die Grauwertdifferenzen analysieren und später besser graphisch darstellen zu können, wurde die Software ERDAS Imagine benutzt. Dafür wurden die erzeugten Differenzbilder von Vicar- in Tiff-Format umgewandelt und nach ERDAS importiert. Da leider keine Mars-Kugel zur Projektion in ERDAS eingefügt werden konnte, wurden die Bilder auf ein beliebiges Erdellipsoid projiziert. Um eine entsprechende Referenzierung der Bilder untereinander zu gewährleisten, wurden das linke obere Pixel jedes Bildes als Ursprung (0,0) gewählt und die Pixelauflösung mit 200 m festgesetzt. Eine genaue, absolute Projektion der Bilder war somit nicht notwendig. Im nächsten Schritt wurde im Menü Data-Prep unter Subset bei allen Streifen ein großer, gemeinsamer, rechteckiger Ausschnitt in den jeweiligen Streifen ausgewählt, um die fehleranfälligen Randbereiche aufgrund der Entzerrung auszuschließen. Im Viewer unter der Menüleiste Information wurden dann die Grauwerte mit absolutem Minimum und Maximum, sowie der Standardabweichung von jedem DGM wiedergegeben und analysiert. Ein Grauwert entspricht dabei einem Höhenmeter.

Streifen h0894, h0905, h0927:

Gesamt-DGM	Minimum [m]	Maximum [m]	Standardabweichung [m]
Difdtm A	-19717	19956	± 977,054
Difdtm B	-19653	19458	± 752,060
Difdtm C	-20872	20540	± 916,604
Difdtm D	-21222	21396	± 706,563
Difdtm X	-32768	29981	± 747,229
Difdtm Y	-20882	28077	± 642,609

Tab. 8 Genauigkeitsangaben zu den Differenzbildern gesamte Streifen

Streifen h0894:

DGM h0894	Minimum [m]	Maximum [m]	Standardabweichung [m]
Difdtm A	-5695	1153	± 96,726
Difdtm B	-4470	1078	± 78,084
Difdtm C	-6848	1862	± 88,826
Difdtm D	-4277	1765	± 67,784
Difdtm X	-5391	3998	± 97,499
Difdtm Y	-4226	2124	± 69,489

Tab. 9 Genauigkeitsangaben zu den Differenzbildern Streifen h0894

Streifen h0905:

DGM h0905	Minimum [m]	Maximum [m]	Standardabweichung [m]
Difdtm A	-4072	2973	± 79,200
Difdtm B	-5398	2234	± 70,374
Difdtm C	-5118	3039	± 74,133
Difdtm D	-3780	3148	± 55,460
Difdtm X	-4970	3248	± 55,239
Difdtm Y	-3765	2985	± 56,708

Tab. 10 Genauigkeitsangaben zu den Differenzbildern Streifen h0905

Streifen h0927:

DGM h0927	Minimum [m]	Maximum [m]	Standardabweichung [m]
Difdtm A	-10282	8323	± 257,814
Difdtm B	-10317	7525	± 207,076
Difdtm C	-11696	8395	± 236,684
Difdtm D	-5305	7104	± 167,363
Difdtm X	-11328	10794	± 204,656
Difdtm Y	-6035	9320	± 161,678

Tab. 11 Genauigkeitsangaben zu den Differenzbildern Streifen h0927

Analyse der Histogrammwerte

Es fällt sofort auf, dass die minimalen und maximalen Grauwerte, sowie die Standardabweichungen im gesamten DGM deutlich schlechter ausfallen, als bei den einzelnen DGM-Streifen. Wenn man sich die Originalbilder (das generierte DGM und das MOLA-DGM) anschaut, fällt sofort auf, dass die Abweichungen ausschließlich in den generierten DGMs zu finden sind. Als Beispiel sei das Gesamt-DGM D mit den höchsten Werten aufgeführt (S. 20, Abb. 10).

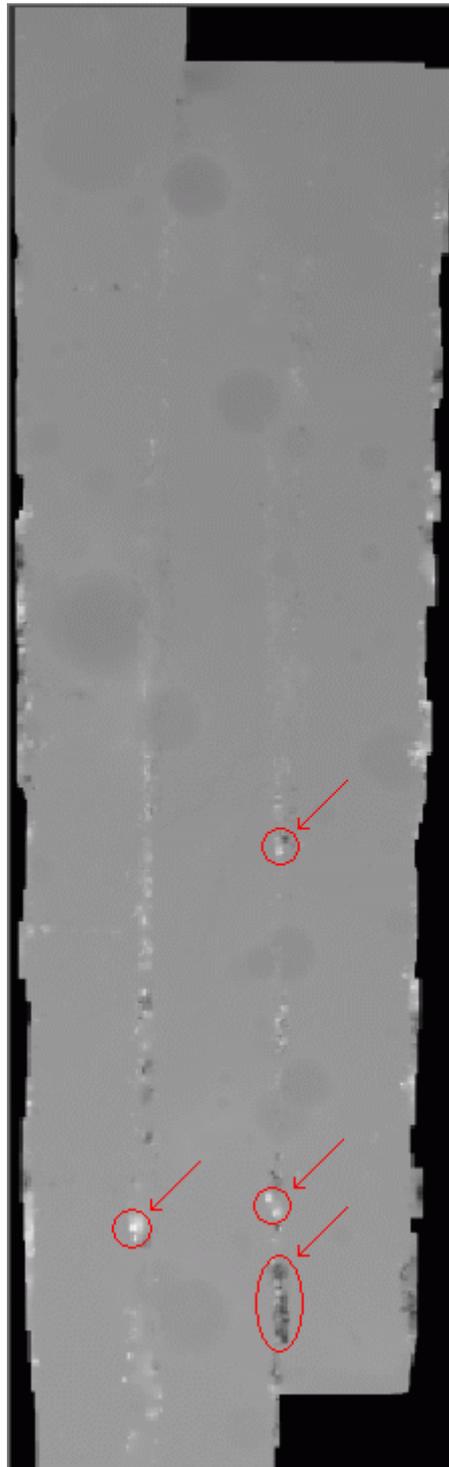
Fehlerquellen im Gesamt-DGM:

Abb. 10 generiertes Gesamt-DGM D

In der Randbereichen der einzelnen Streifen treten gerade im unteren Bereich sehr starke Grauwertunterschiede (Extrema) sowohl in negativer (schwarz), als auch in positiver (weiß) Richtung auf (rot markiert), die falsch interpoliert worden sind, da dort unzureichende oder keine Bildinformation vorhanden sind.

Dies ist in allen sechs Bildern der Fall. Grund dafür ist die fehlerhafte Entzerrung an den Randbereichen und die z.T. fehlende Überdeckung der Streifen. Im oberen Bereich ist die Überdeckung wesentlich größer. Der Anteil dieser Extrema ist aber gering. Sie verteilen sich nur entlang der beiden Randbereiche. Im Histogrammbild (Abb. 11) wird deutlich, dass der wesentliche Hauptanteil der Grauwerte sich in Form einer Gauß'schen Glockenkurve grob zwischen den Grauwerten von -500 und 500 aufhält (roter Strich = mean = mittlerer Grauwert). Die Relation der Verteilung wird an Grauwertachse sehr deutlich. In den anderen DGMs verhält es sich ähnlich. Die Minima und Maxima sind deutlich größer als das 3 fache der Standardabweichung. Sie können daher eindeutig als Ausreißer deklariert werden und verfälschen die einzelnen Standardabweichungen. Somit sind die Genauigkeitsangaben beim Gesamt-DGM für einen Vergleich zum MOLA-DGM nicht gut zu gebrauchen. Daher wurden die einzelnen Streifen genauer betrachtet.

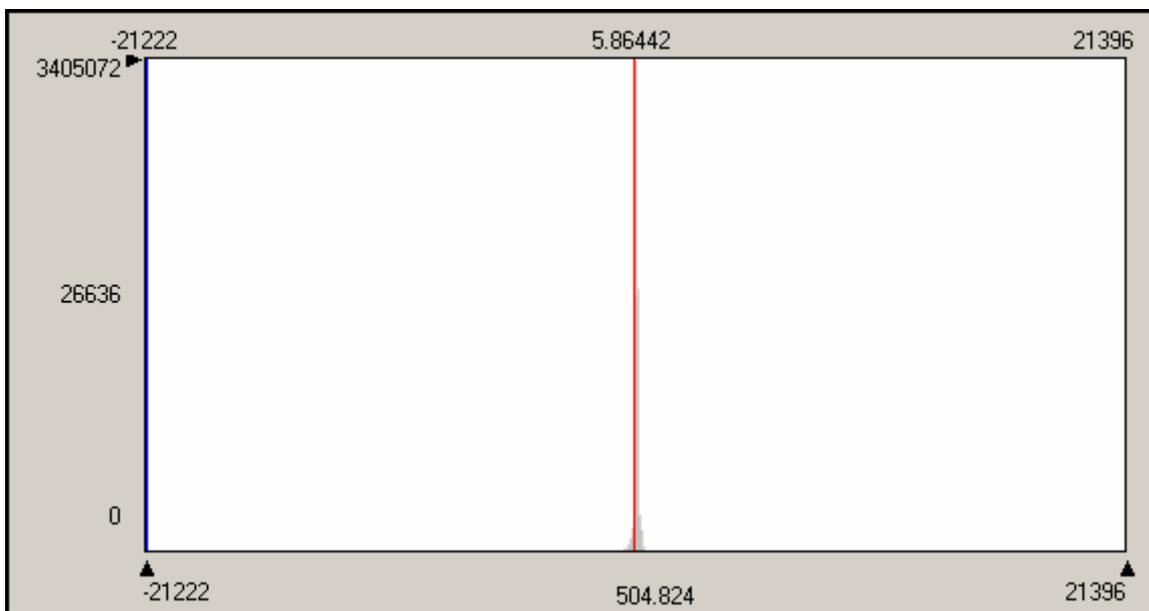


Abb. 11 Histogramm von Gesamt-DGM D

Die einzelnen Streifen sind untereinander sehr inhomogen. Die Standardabweichungen liegen zwar im Vergleich zum Gesamt-DGM nur zwischen ca. 55 und 260 Grauwerten, jedoch sind die Minima und Maxima dennoch recht hoch und es treten auch dort Ausreißer auf, besonders im Streifen h0927. Dieser hat dadurch auch die höchste Standardabweichung. Bei Betrachtung des generierten DGMs, fällt direkt auf, wo die Ausreißer liegen. Sie verteilen sich abschnittsweise quer zum Streifen. Dies ist durchaus verwunderlich, weil eher am äußersten Randbereich, wie bei den anderen DGMs, größere Grauwertunterschiede vermutet werden. Diese Unterschiede verteilen sich in fast konstanten Abständen entlang des Streifens (S. 22, Abb. 12). Grund dafür liegt in der Tatsache, dass in diesen Bereichen ein Übergang zwischen 2 und 3 Strahlenpunkten vorhanden ist. Durch die höhere Anzahl und schlechtere Genauigkeit der 2 Strahlenpunkte kommt es auch hier zu unzureichenden und fehlenden Bildinformationen.

Der beste Streifen ist der mittlere Streifen h0905. Er hat die geringste Standardabweichung und passt sich dem MOLA-DGM am besten an.



Abb. 12 Streifen h0927 DGM C

Bei allen Streifen wird aber trotz stark unterschiedlicher Standardabweichungen die Tendenz bestätigt, dass unter Verwendung der verbesserten Äußeren Orientierung die Grauwerte generell kleiner ausfallen, ebenso unter Verwendung des Minpmk-Wertes von 0,6. Somit passen sich diese Ergebnisse besser dem Referenz-MOLA-DGM an, als die Ergebnisse unter Verwendung der nominellen Äußeren Orientierung und einem Minpmk-Wert von 0,4.

4.3.2 Graphischer (visueller) Vergleich

Um die erzielten Genauigkeitsunterschiede besser einschätzen zu können, wurden die Grauwerte beim Gesamt-DGM mit einer Segmentierung (Klassifizierung) vereinfacht dargestellt. Dabei wurden die 65526 Grauwerte in 8 große, farbige Klassen eingeteilt. Die 8 Klassen wurden durch eine überwachte Klassifizierung (Supervised Classification) unter dem Menü Classifier in ERDAS bestimmt. Die verschiedenen Histogrammklassen wurden durch entsprechende Histogrammsignaturen im Untermenü Signature Editor aus dem Bild abgeleitet. Dabei wurden bei allen Bildern die selben Grauwertklassen (Einteilung pro Klasse mit 50 Grauwerten) gewählt, um einen besseren, direkten Vergleich zu ermöglichen (siehe Anhang D 1 bis D 6).

Analyse der Bilder

In den farbigen Bildern werden die erzielten Ergebnisse aus dem Grauwertvergleich visuell bestätigt. Innerhalb der einzelnen Streifen sind die Höhenunterschiede (Grauwertunterschiede) hauptsächlich nicht größer als 150 Meter sowohl in positiver, als auch in negativer Richtung. An den Streifenrändern sind die Abweichungen dagegen wie erwartet am größten. Dieser Anteil zieht sich wie ein „rosa-roter-Faden“ entlang der jeweiligen Streifengrenze. Darin sind auch die groben Ausreißer enthalten.

Bei den Differenzbildern unter Verwendung der nominellen Äußeren Orientierung (Anhang D 1 und D 2) ist die Verteilung der Grauwertklassen bei allen 3 Streifen sehr unterschiedlich. Es gibt einzelne Bereiche, in denen hauptsächlich nur bestimmte Grauwertklassen vorkommen. Besonders deutlich wird dies im linken Streifen h0927. Dieser Streifen weist einen markanten Grauwert-Bereich (-51 bis -150) auf, der sich von den restlichen Grauwerten im Streifen deutlich abgrenzt. Grund dafür ist auch hier die Tatsache, dass genau in diesem Bereich ausschließlich der hohe Anteil der 2 Strahlenpunkte vorhanden ist. Wenn anstatt der 2 Strahlenpunkte nur 3 Strahlenpunkte bei der DGM-Generierung berücksichtigt werden, werden in diesem Bereich mangels Information keine Grauwerte generiert. Der Abstand ist auch viel zu groß, dass er mit den Punkten am Rand interpoliert werden könnte, wie es an den anderen markanten Stellen der Fall ist (siehe S. 24, Abb. 13).

Bei den Differenzbildern mit verbesserter Äußerer Orientierung (Anhang D 3, D 4) sind alle Streifen dagegen viel homogener. Es überwiegen in allen 3 Streifen hauptsächlich die Grauwertklassen von -50 bis 100. Im Streifen h0927 ist der Bereich der 2 Strahlenpunkte nur noch ansatzweise zu erkennen. Somit kann auch hier visuell deutlich eine größere Übereinstimmung gegenüber dem MOLA-DGM festgestellt werden.

Bei den Differenzbildern mit unterschiedlicher Orientierung (Anhang D 5 und D 6) kehrt sich die Lage zu den Differenzbildern mit nomineller Orientierung praktisch um, weil die erzeugten DGMs mit verbesserter Orientierung in gewissen Teilen als Quasi-Referenz-MOLA-DGM fungieren.

Bei Betrachtung der Differenzbilder mit unterschiedlichem Minpmk-Wert kann auf Anhieb keine starke Veränderung wie bei unterschiedlicher Äußerer Orientierung festgestellt werden. Es können nur punktuell Unterschiede festgestellt werden. Hier zeigt sich, dass die Veränderung der Äußeren Orientierung eine Verlagerung von ganzen Grauwertklassen bewirkt.

Bei genauer Betrachtung fällt auf, dass bei größeren, natürlichen Geländesprüngen auf der Marsoberfläche, wie z.B. bei Kratern oder Gräben deutlich Genauigkeitsschwankungen sowohl in negativer als auch in positiver Richtung auftreten. Hier sind neben den groben Ausreißern weitere große Fehler. Ein Grund liegt sicherlich im maximalen Auflösungsvermögen der Aufnahme­fläche des Altimeters.

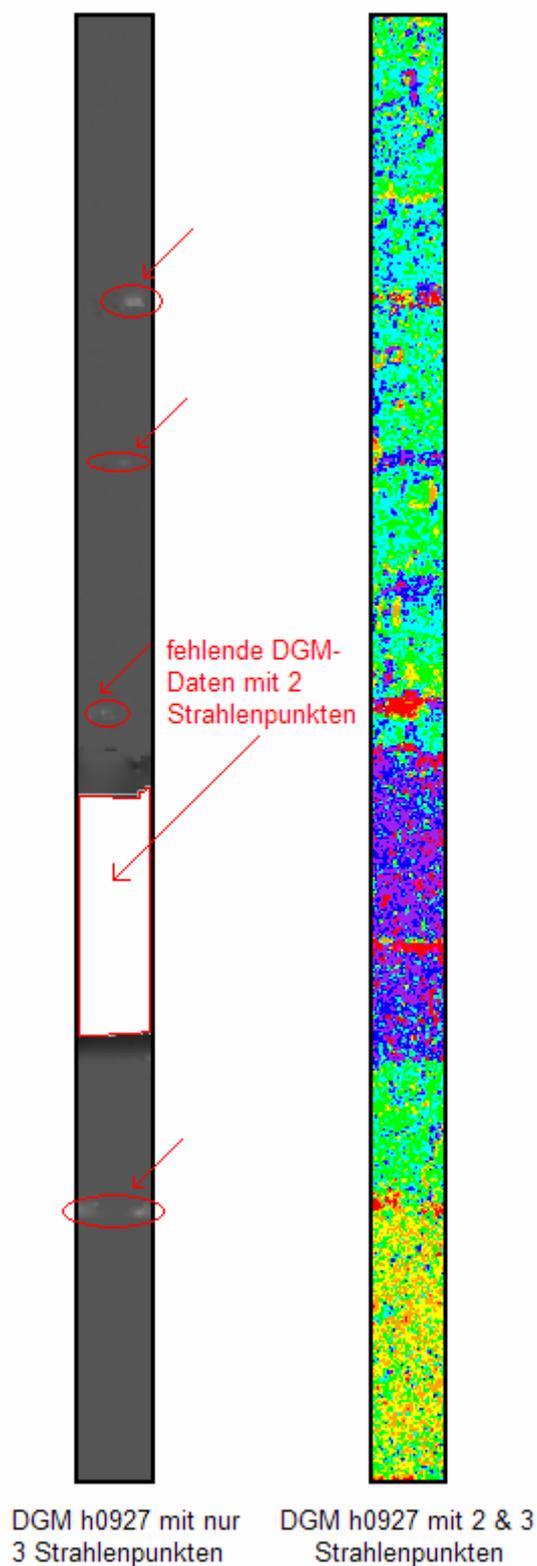


Abb. 13 Vergleich DGM mit nur 3 Strahlenpunkte beim Streifen h0927

4.3.3 Zusammenfassung des DGM-Vergleichs

Es bleibt festzuhalten, dass bezüglich des minimalen Kreuzkorrelationskoeffizienten die These bestätigt werden kann, dass mit einer Erhöhung auf den Wert 0,6 die Genauigkeit (Faktor 0,7) verbessert und die Rechenzeit verkürzt werden kann. Jedoch ist die Anzahl der verwendeten Matchingpunkte nicht wesentlich geringer als vielleicht erwartet, sondern fast konstant im Vergleich zu den Ergebnissen mit dem Standardwert von 0,4.

Ebenso kann die These bestätigt werden, dass durch den Einsatz der verbesserten Äußeren Orientierung die Genauigkeit der DGM-Ergebnisse gesteigert werden kann. Die generierten DGMs mit einem Minpmk-Wert von 0,6 und verbesserter Äußerer Orientierung zeigen die beste Übereinstimmung mit dem MOLA-DGM. Im Optimalfall wird eine Standardabweichung von knapp ± 50 m, im schlechtesten Fall von ca. ± 170 m erreicht, jedoch mit einem hohen Anteil an 2 Strahlenpunkten, die das Ergebnis ungenauer machen. Nimmt man den Streifen h0927 heraus, so liegen die Ergebnisse aus den beiden Streifen nur knapp über dem Erwartungswert von ± 50 m aus den Ergebnissen von HEIPKE, EBNER ET AL., 2004. Somit können bei optimalen Bedingungen, d.h. ein sehr hoher Anteil an 3 Strahlenpunkte mit einem höheren Minpmk-Wert und verbesserter Äußerer Orientierung durchaus ± 50 m erreicht werden.

Die erzielten Ergebnisse mit nomineller Äußerer Orientierung sind z.T. nicht gravierend schlechter. Im günstigsten Fall beträgt der Unterschied zum MOLA-DGM mit knapp ± 75 m nur das 1,5fache als mit verbesserter Orientierung. Im schlechtesten Fall können es aber unter ungünstigeren Bedingungen schon knapp ± 240 m betragen.

5 Orthophotoherstellung

In einem weiteren, zusätzlichen Schritt wurde ein genaues, farbiges Orthophoto aus den 3 Streifen generiert. Dafür wurde als Höheninformation das genaueste Gesamt-DGM (DTM_ext_a_06_gesamt) gewählt.

5.1 Orthophoto-Generierung

Für die Orthophoto Generierung wurden in HRORTHO jeweils die Level 2 RGB-Bilder aus jedem Streifen genommen und mit Hilfe der Inneren- und verbesserten Äußeren Orientierung und dem am genauesten generierten DGM entzerrt und in hochauflösende, farbige Orthophotos (RGB) umgewandelt. Als Kartenprojektion wurde die MOLA-Kugel und als Kartentyp Sinusoidal beibehalten. Die Auflösung wurde wieder mit 100 m gewählt, weil es bei einem vorgesehenen Maßstab von 1:2000000 im DinA3-Format nicht unbedingt sinnvoll ist die Auflösung zu erhöhen. Eigentlich würden bei einer Auflösungsgenauigkeit des menschlichen Auges von knapp 0,1 mm auch bei diesem Maßstab schon 200 m pro Pixel ausreichen.

5.2 Orthophoto-Mosaikierung

Im nächsten Schritt wurden die erzeugten Orthophotos aus allen 3 Streifen zu einem Gesamthorthophoto mit dem Programm DLRMOSAIC zusammengefügt (mosaikiert). Zuvor wurden jedoch alle 3 Streifen mit dem Programm HRCOLOR radiometrisch kalibriert.

5.3 Kartenherstellung

Das erzielte Ergebnis wurde dann in Tiff umgewandelt und anschließend nach ERDAS für die Kartenherstellung importiert. Dabei wurden wieder die Randbereiche ausgeschlossen und ein möglichst großer, rechteckiger Ausschnitt herausgenommen. Dieser Ausschnitt wurde im Map Composer eingefügt und daraus eine komplette Karte mit Legende, Maßstab und Beschriftung angefertigt (siehe Kartenblatt im Anhang letzte Seite).

5.4 3D Ansicht

Zum Schluss wurde noch in Virtual GIS von ERDAS das benutzte DGM und darüber das Orthophotomosaik für eine 3D Ansicht eingelesen, um die großen Höhenfehler an den Streifenrändern in ihrer Dimension besser betrachten zu können.

Es ist deutlich zu sehen, wie die Fehler das gesamte Gelände überragen (Abb. 14). Im hinteren Bereich nehmen sie zwar ab, sind jedoch immer noch hoch. Zusätzlich sind die Streifenränder deutlich zu sehen (Abb. 15).

Das beste generierte Gesamt-DGM ist daher sicherlich mit den groben Ausreißern visuell nicht zufriedenstellend. Gerade bei natürlichen Geländesprüngen wirken sich solche groben Fehler auch in der Lagegenauigkeit aus. Es ist daher zu überlegen, ob diese Ausreißerketten an den Streifenränder und Streifenübergängen nicht nachträglich überarbeitet und korrigiert werden.

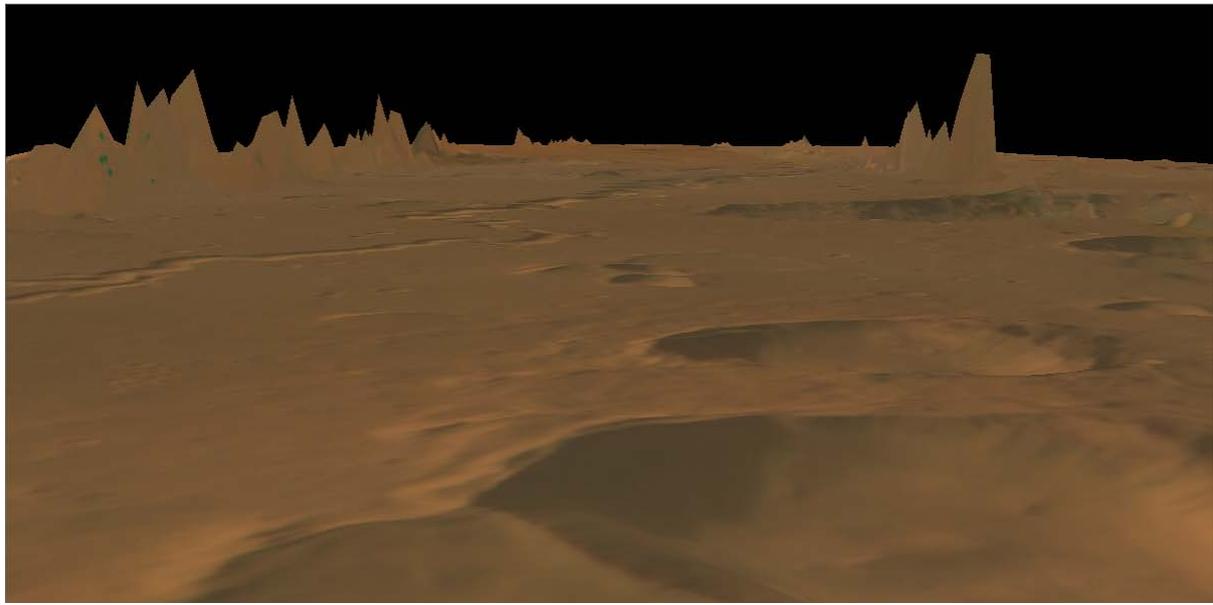


Abb. 14 3D Ansicht des Orthophotos in Virtual GIS (vorderer Bereich)

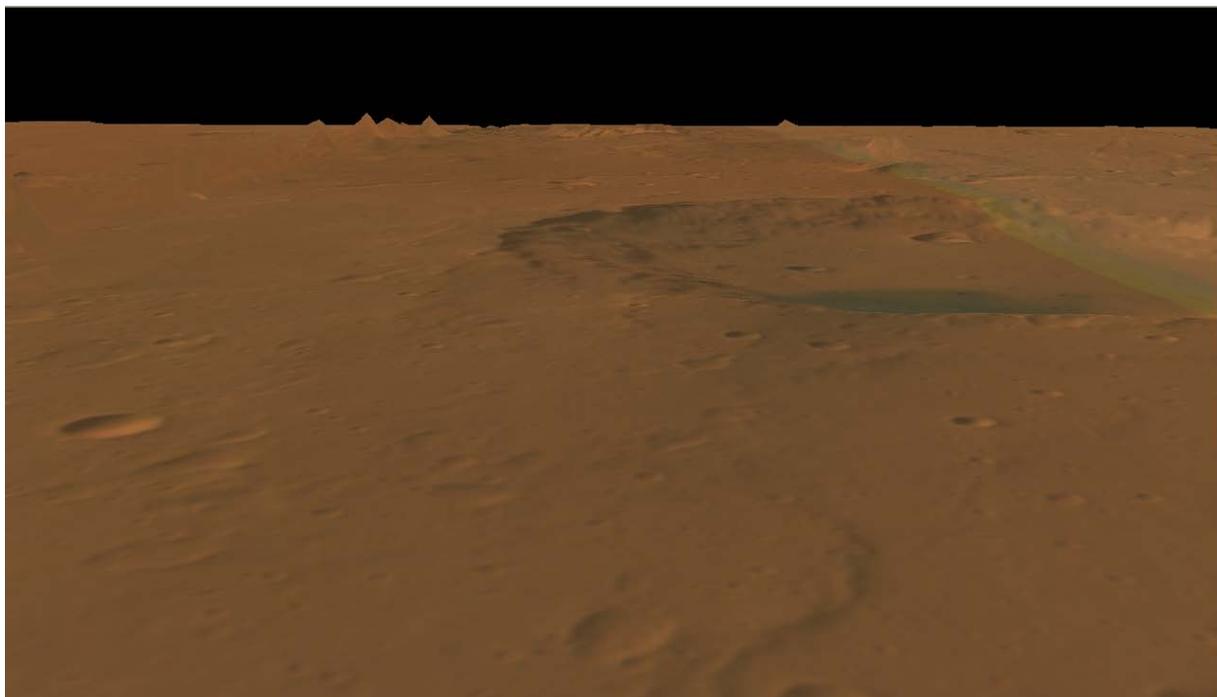


Abb. 15 3D Ansicht des Orthophotos in Virtual GIS (hinterer Bereich)

6 Schlussbetrachtung und Ausblick

Die Studienarbeit hat gezeigt, dass im Vicar-Programm DLRMATCH die Standardeinstellung des minimalen Kreuzkorrelationskoeffizienten (Minpmk) von 0,4 nicht optimal gewählt worden ist. Ein besserer Wert wurde mit 0,6 festgestellt. Ebenso hat sich gezeigt, dass die Level 4 Prozessierung mit verbesserter Äußerer Orientierung wie eigentlich erwartet genauere Ergebnisse liefert, als die Prozessierung mit nomineller Äußerer Orientierung. Erst recht bei einem Minpmk-Wert von 0,6.

Vielleicht kann mit dieser Studienarbeit bewirkt werden, dass die Standardeinstellung des Kreuzkorrelationskoeffizienten auf den Wert 0,6 geändert wird, um somit die Prozessierung für nicht fachspezifische Anwender zu verbessern und zu verkürzen.

Weiterhin bleibt festzuhalten, dass die gesamte Prozesskette sehr fachspezifisch ausgelegt ist und für nicht geschulte Anwender durch die vielleicht ungewohnte Unix-Plattform fehleranfällig sein kann. Die Vicar-Prozessierung ist daher sicherlich mit üblichen nutzerfreundlichen Standardanwendungen zur Orthophotoherstellung wie z.B. Erdas nicht vergleichbar. Diese fachspezifischen Programme haben aber auch nicht den Anspruch diese Erwartung zu erfüllen.

Sicherlich hat die Studienarbeit sich bei den Matching-Parameter auf eine Einstellung beschränkt und andere Standardeinstellungen wurden beibehalten, jedoch hätte eine Untersuchung weiterer Parametereinstellungen den Rahmen und den Zeitaufwand dieser Arbeit gesprengt. Im Rahmen einer Diplomarbeit zu diesem Thema sind vielleicht noch weitere Einstellungen zu untersuchen, die vielleicht verbessert werden können. Vermutlich ist es nicht die einzige Parametereinstellung, die noch geändert werden kann.

7 Literaturverzeichnis

- ALBERTZ, J., 2001: Einführung in die Fernerkundung, 2. Auflage, Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt, S. 101-104
- EBNER, H., KORNUS, W., OHLHOF, T., 1994: A simulation study on point determination for the MOMS-02/D2 space project using an extended functional model Geo-Information-Systeme (7) 1, S. 11-16.
- HEIPKE, EBNER ET AL., 2004: Bestimmung der Äußeren Orientierung des Mars Express Orbiters, IntArchPHRS (30)
- HOFMANN, O., NAVE, P., EBNER, H., 1982: DPS – A digital photogrammetric system for producing digital elevation models and orthophotos by means of linear array scanner imagery, IntArchPhRS (24) 3, S. 216.-227.
- KRAUS, K., 1994: Photogrammetrie, Band 1, 6. Auflage, Grundlagen und Standardverfahren, Dümmler Verlag, Bonn
- KRAUS, K., 1996: Photogrammetrie, Band 2, 3. Auflage, Verfeinerte Methoden und Anwendungen, Dümmler Verlag, Bonn
- NEUMANN, G. A., LEMOINE, F. G., SMITH, D. E., ZUBER, M. T., The Mars Orbiter Laser Altimeter Archive : Final Precision Experiment Data Record Release and Status of Radiometry, Lunar Planetary Science XXXIV, #1978, 2003.
- OBERST ET AL., 2004: The Mapping Performance of the HRSC/SRC in Mars Orbit, ISPRS Congress 2004, Istanbul
- KORNUS, W., 1999: Dreidimensionale Objektrekonstruktion mit digitalen Dreizeilen-scannerdaten des Weltraumprojekts MOMS-02/D2, DGK-C, (496), München
- SCHMIDT, R., BRAND, R., 2003: Automatic determination of tie points for HRSC on Mars Express, ISPRS Workshop High Resolution Mapping from Space 2003, October 6.-8, Hannover.
- SCHOLTEN, F.; 2005: DLR-Software for Generation of Level 4 Data Digital Terrain Models Orthoimages, Mosaics, DLR Seminar, 2005, 17-18 Februar, Berlin
- SMITH ET AL., Mars Orbit Laser Altimeter: Experiment summary after the first year of global mapping of Mars, J. Geophys Res., Vol. 106, No. E10, 23,689-23, 277, 2001.
- SPIEGEL, M., BAUMGARTNER, A., EBNER, H., 2003: Orientation of Mars Express/HRSC imagery using altimeter data as control information, ISPRS Workshop High Resolution Mapping from Space 2003, October 6.-8, Hannover.
- WEWEL, F.; 1997: Automatic determination of conjugate points for the generation of DTM's, Match Programm dlrmatch2, Version 4.40021

Internet

Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt (DLR): Mars Express – Mars Express Instrumente, Stand: Mai 2005
<http://www.dlr.de/mars-express/instruments>

European Space Agency (ESA): Facts about Mars, Stand: November 2004
http://www.esa.int/SPECIALS/Mars_Express/SEM52E5V9ED_0.html

Institut für Photogrammetrie und GeoInformation (IPI): HRSC auf Mars Express, Stand: März 2005,
<http://ipi216.ipi.uni-hannover.de/foerder/Bericht2004/instarb.htm>

Institut für Photogrammetrie und Kartographie (IPK), Fachgebiet für Photogrammetrie und Fernerkundung (FPF): Kombinierte Bündelblockausgleichung von HRSC- und MOLA-Daten für Mars Express, Stand: März 2005
http://www.ipk.bv.tum.de/site_lpf/site_new/site_de/forschung_projekte.htm

Institut für Planetenforschung, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR): Aufnahme Prinzip HRSC / SRC, Stand: Juli 2004
http://berlinadmin.dlr.de/Missions/express/kamera/kamera_alt.shtml

Schweizerische Raumfahrt Vereinigung (SRV): Der Mars im Visier der europäischen Raumforschung, Stand: Mai 2005
<http://www.srv-ch.org/contribeuromarsforschung/euromarsforschung.htm>

Köhlers Daten Service (KDS): Marsdata, Was wir über den Mars wissen, Stand Januar 2004
<http://www.kds-internet.de/mars/marsdata.htm>

8 Anhang

8.1 Anhang A

Musterskript für die Vicar-Prozessierung in der Kommandozeile

```
#----- Subset of megr_0.463 MOLA DTM -----
$HWLIB/dlrmmaptran inp=megr_0.463 out=megr_0.463_klein MAX_LAT=20 MIN_LAT=-10
MAX_LON=320 MIN_LON=300

#----- Converting 16bit level-2 to 8bit level-2 -----
$HWLIB/dlrto8 inp=h0905_0000.bl2.08 out=h0905_0000.bl2.08_8bit

#----- Rectification for DTM-Generation -----

set ORI_MODE = EXT
set MP_TYPE = SINUSOIDAL
set MP_CENLAT = 0.0
set START_L = 1
set NOF_L = 0

\mkdir mat

# set map scale for files to be used for matching:
set MATCH_MPSCALE = 0.1

# set anchor point distance for nd rectification:
set ANCH_ND = 8
# set anchor point distance for stereo rectification:
set ANCH_ST = 4

$HWLIB/hrortho      inp=8bit/h0905_0000.nd2.08 ori=$ORI_MODE
ext=lev2/h0905_0000.nd2.08_ext \
                    out=mat/h0905_0000.nd3.08 \
                    sl_i=$START_L nl_i=$NOF_L anch=$ANCH_ND \
                    dtm=megr_0.463_klein mp_type=$MP_TYPE cen_lat=$MP_CENLAT
mp_sca=$MATCH_MPSCALE \
                    match=match

$HWLIB/hrortho      inp=8bit/h0905_0000.s12.08 ori=$ORI_MODE
ext=lev2/h0905_0000.s12.08_ext \
                    out=mat/h0905_0000.s13.08 \
                    sl_i=$START_L nl_i=$NOF_L anch=$ANCH_ST \
                    dtm=megr_0.463_klein fitto=mat/h0905_0000.nd3.08 \
                    match=match

$HWLIB/hrortho      inp=8bit/h0905_0000.s22.08 ori=$ORI_MODE
ext=lev2/h0905_0000.s22.08_ext \
                    out=mat/h0905_0000.s23.08 \
                    sl_i=$START_L nl_i=$NOF_L anch=$ANCH_ST \
                    dtm=megr_0.463_klein fitto=mat/h0905_0000.nd3.08 \
                    match=match
```

```
#----- Matching for DTM-Generation -----

# set special parameters for matching
set GRID = 2
set MINPMK = 0.4
set LINE_SCOPE = 3,3,3,3
set SAMP_SCOPE = 3,3,3,3
set NO_PYR = 4

# do the matching:

date
$HWLIB/dlrmatch2 inp=mat/h0905_0000.nd3.08,mat/h0905_0000.s13.08,mat/h0905_0000.s23.08
out=mat/tpf_mat_2_04_3333 \
    grid=$GRID minpmk=$MINPMK smp_scop=$SAMP_SCOPE lne_scop=$LINE_SCOPE
no_pyr=$NO_PYR \

# convert matched coordinated to original level-2 coordinates:

date
$HWLIB/dlrdemat inp=mat/tpf_mat_2_04_3333 out=mat/tpf_2_04_3333 image_dir=mat/

#----- Object points for DTM-Generation -----

\mkdir dtm

# use all matched coordinate pairs (including simple 2-image-stereo):
set MIN_IMG = 2

date
$HWLIB/hrobj im_tp=mat/tpf_2_04_3333
ext=lev2/h0905_0000.nd2.08_ext,lev2/h0905_0000.s12.08_ext,lev2/h0905_0000.s22.08_ext
out_pts=dtm/objpts_2_04_3333 \
    image_dir=8bit/ min_img=$MIN_IMG

#----- DTM-Generation using object points -----

set MP_TYPE = SINUSOIDAL
set MP_CENLAT = 0.0
set MP_POSLON = EAST
set START_L = 1
set NOF_L = 0
set MP_A_AXIS = 3396
set MP_B_AXIS = 3396
set MP_C_AXIS = 3396
set DTM_A_AXIS = 3396
set DTM_B_AXIS = 3396
set DTM_C_AXIS = 3396

# set map scale of DTM:
set DTM_MPSCALE = 0.2

# set parameters for DTM interpolation
set IPOL_MOD = NO_GAPS
set IPOL_RAD = 4
set IPOL_PTS = 20
set IPOL_MET = MEAN
```

```

date
$HWLIB/dlrdtm ob_pts=dtm/objpts_2_04_3333 dtm_file=dtm/dtm_2_04_3333 \
      IPOL_MOD=$IPOL_MOD IPOL_RAD=$IPOL_RAD IPOL_PTS=$IPOL_PTS
IPOL_MET=$IPOL_MET \
      MP_SCALE=$DTM_MPSCALE mp_type=$MP_TYPE cen_lat=$MP_CENLAT
pos_dir=$MP_POSLON\
      A_AX=$MP_A_AXIS B_AX=$MP_B_AXIS C_AX=$MP_C_AXIS \
      DTM_A_AX=$DTM_A_AXIS DTM_B_AX=$DTM_B_AXIS
DTM_C_AX=$DTM_C_AXIS

#----- Fit Mola-DTM to generated DTM -----

\mkdir megr

date
$HWLIB/dlrmmaptran inp=megr_0.463_klein out=megr/megr_0.463_2_04_3333
fitto=dtm/dtm_2_04_3333

#----- Difference between fitted MOLA DTM and generated DTM -----

\mkdir dif

date
$P2LIB/difpic inp=megr/megr_0.463_2_04_3333,dtm/dtm_2_04_3333 out=dif/difdtm_a

#----- Converting vicar to tif -----

\mkdir tif

date
$P2LIB/vtiff2 vtiff-fromvic inp=dif/difdtm_a out=tif/difdtm_a.tif

#----- Deriving standard 8bit level-4 orthoimages from 8bit level2 -----

\mkdir ort4

set MP_A_AXIS = 3396.
set MP_B_AXIS = 3396.
set MP_C_AXIS = 3396.
set START_L = 1
set NOF_L = 0
set ORI_MODE = EXT
set MP_TYPE = SINUSOIDAL
set MP_CENLAT = 0.0
set MP_CENLON = 312.0
set COL_MPSCALE = 0.1
set ANCH_ND = 8
set ANCH_CO = 4

date
$HWLIB/hrortho      inp=8bit/h0905_0000.re2.08 ori=$ORI_MODE
ext=lev2/h0905_0000.re2.08_ext_a \
      out=ort4/h0905_0000.re4.08 \
      sl_i=$START_L nl_i=$NOF_L anch=$ANCH_CO \
      dtm=dtm4/dtm_gesamt_a_2_06_3333 mp_type=$MP_TYPE
cen_lat=0 cen_lon=312 mp_sca=$COL_MPSCALE \
      A_AX=$MP_A_AXIS B_AX=$MP_B_AXIS C_AX=$MP_C_AXIS

```

```
date
$HWLIB/hrortho      inp=8bit/h0905_0000.gr2.08 ori=$ORI_MODE
ext=lev2/h0905_0000.gr2.08_ext_a \
                    out=ort4/h0905_0000.gr4.08 \
                    sl_i=$START_L nl_i=$NOF_L anch=$ANCH_CO \
                    dtm=dtm4/dtm_gesamt_a_2_06_3333 fitto=ort4/h0905_0000.re4.08
```

```
date
$HWLIB/hrortho      inp=8bit/h0905_0000.bl2.08 ori=$ORI_MODE
ext=lev2/h0905_0000.bl2.08_ext_a \
                    out=ort4/h0905_0000.bl4.08 \
                    sl_i=$START_L nl_i=$NOF_L anch=$ANCH_CO \
                    dtm=dtm4/dtm_gesamt_a_2_06_3333 fitto=ort4/h0905_0000.re4.08
```

```
#----- Radiometric calibration for HRSC rgb-images -----
```

```
\mkdir col
```

```
$HWLIB/hrcolor inp = h0927_0000.re4.06 out = col/h0927_0000.re4.06.col
```

```
#----- Generating of image mosaics -----
```

```
$HWLIB/dlrmosaic inp=0927-0905-0894.nd.mos.lis out=0927-0905-0894.nd.mos
```

8.2 Anhang B

Ergebnisse aus der Objektpunktdatei HROBJ.doc

Streifen h0894:

Matching A:

Anzahl der urspr. Punkte = 1296692

Anzahl der Objektpunkte = 1279524 , die alle Kriterien erfuehlen und verwendet werden

98.68 Prozent der urspruenglichen Punkte werden verwendet.

Mittlerer Lagefehler aller Objektpunkte = 176.95[m]

2 Strahlen: 18.09 Prozent [231425] der verwendeten Punkte

Mittl. Lagefehler dieser Objektpunkte = 510.13[m]

3 Strahlen: 81.91 Prozent [1048099] der verwendeten Punkte

Mittl. Lagefehler dieser Objektpunkte = 103.38[m]

Matching B:

Anzahl der urspr. Punkte = 1240699

Anzahl der Objektpunkte = 1223681 , die alle Kriterien erfuehlen und verwendet werden

98.63 Prozent der urspruenglichen Punkte werden verwendet.

Mittlerer Lagefehler aller Objektpunkte = 134.39[m]

2 Strahlen: 17.36 Prozent [212413] der verwendeten Punkte

Mittl. Lagefehler dieser Objektpunkte = 346.83[m]

3 Strahlen: 82.64 Prozent [1011268] der verwendeten Punkte

Mittl. Lagefehler dieser Objektpunkte = 89.77[m]

Matching C:

Anzahl der urspr. Punkte = 1299839

Anzahl der Objektpunkte = 1282175 , die alle Kriterien erfuehlen und verwendet werden

98.64 Prozent der urspruenglichen Punkte werden verwendet.

Mittlerer Lagefehler aller Objektpunkte = 122.38[m]

2 Strahlen: 17.62 Prozent [225900] der verwendeten Punkte

Mittl. Lagefehler dieser Objektpunkte = 461.94[m]

3 Strahlen: 82.38 Prozent [1056275] der verwendeten Punkte

Mittl. Lagefehler dieser Objektpunkte = 49.76[m]

Matching D:

Anzahl der urspr. Punkte = 1250340

Anzahl der Objektpunkte = 1232863 , die alle Kriterien erfuellen und verwendet werden

98.60 Prozent der urspruenglichen Punkte werden verwendet.

Mittlerer Lagefehler aller Objektpunkte = 78.83[m]

2 Strahlen: 16.76 Prozent [206581] der verwendeten Punkte

Mittl. Lagefehler dieser Objektpunkte = 294.91[m]

3 Strahlen: 83.24 Prozent [1026282] der verwendeten Punkte

Mittl. Lagefehler dieser Objektpunkte = 35.33[m]

Streifen h0905

Matching A:

Anzahl der urspr. Punkte = 1635316

Anzahl der Objektpunkte = 1623101 , die alle Kriterien erfuellen und verwendet werden

99.25 Prozent der urspruenglichen Punkte werden verwendet.

Mittlerer Lagefehler aller Objektpunkte = 157.29[m]

2 Strahlen: 11.44 Prozent [185689] der verwendeten Punkte

Mittl. Lagefehler dieser Objektpunkte = 729.73[m]

3 Strahlen: 88.56 Prozent [1437412] der verwendeten Punkte

Mittl. Lagefehler dieser Objektpunkte = 83.34[m]

Matching B:

Anzahl der urspr. Punkte = 1577492

Anzahl der Objektpunkte = 1565495 , die alle Kriterien erfuellen und verwendet werden

99.24 Prozent der urspruenglichen Punkte werden verwendet.

Mittlerer Lagefehler aller Objektpunkte = 116.12[m]

2 Strahlen: 11.57 Prozent [181066] der verwendeten Punkte

Mittl. Lagefehler dieser Objektpunkte = 468.26[m]

3 Strahlen: 88.43 Prozent [1384429] der verwendeten Punkte

Mittl. Lagefehler dieser Objektpunkte = 70.07[m]

Matching C:

Anzahl der urspr. Punkte = 1665099

Anzahl der Objektpunkte = 1652873 , die alle Kriterien erfuellen und verwendet werden

99.27 Prozent der urspruenglichen Punkte werden verwendet.

Mittlerer Lagefehler aller Objektpunkte = 112.77[m]

2 Strahlen: 11.07 Prozent [183050] der verwendeten Punkte
Mittl. Lagefehler dieser Objektpunkte = 684.50[m]

3 Strahlen: 88.93 Prozent [1469823] der verwendeten Punkte
Mittl. Lagefehler dieser Objektpunkte = 41.57[m]

Matching D:

Anzahl der urspr. Punkte = 1626886
Anzahl der Objektpunkte = 1614880 , die alle Kriterien erfuehlen und verwendet werden

99.26 Prozent der urspruenglichen Punkte werden verwendet.

Mittlerer Lagefehler aller Objektpunkte = 71.35[m]

2 Strahlen: 10.94 Prozent [176705] der verwendeten Punkte
Mittl. Lagefehler dieser Objektpunkte = 423.38[m]

3 Strahlen: 89.06 Prozent [1438175] der verwendeten Punkte
Mittl. Lagefehler dieser Objektpunkte = 28.09[m]

Streifen h0927

Matching A:

Anzahl der urspr. Punkte = 1361472
Anzahl der Objektpunkte = 1348967 , die alle Kriterien erfuehlen und verwendet werden

99.08 Prozent der urspruenglichen Punkte werden verwendet.

Mittlerer Lagefehler aller Objektpunkte = 153.70[m]

2 Strahlen: 40.61 Prozent [547858] der verwendeten Punkte
Mittl. Lagefehler dieser Objektpunkte = 225.64[m]

3 Strahlen: 59.39 Prozent [801109] der verwendeten Punkte
Mittl. Lagefehler dieser Objektpunkte = 104.50[m]

Matching B:

Anzahl der urspr. Punkte = 1285321
Anzahl der Objektpunkte = 1272976 , die alle Kriterien erfuehlen und verwendet werden

99.04 Prozent der urspruenglichen Punkte werden verwendet.

Mittlerer Lagefehler aller Objektpunkte = 116.87[m]

2 Strahlen: 40.38 Prozent [513998] der verwendeten Punkte
Mittl. Lagefehler dieser Objektpunkte = 164.39[m]

3 Strahlen: 59.62 Prozent [758978] der verwendeten Punkte
Mittl. Lagefehler dieser Objektpunkte = 84.69[m]

Matching C:

Anzahl der urspr. Punkte = 1416097

Anzahl der Objektpunkte = 1404086 , die alle Kriterien erfuehlen und verwendet werden

99.15 Prozent der urspruenglichen Punkte werden verwendet.

Mittlerer Lagefehler aller Objektpunkte = 114.83[m]

2 Strahlen: 40.65 Prozent [570766] der verwendeten Punkte

Mittl. Lagefehler dieser Objektpunkte = 184.28[m]

3 Strahlen: 59.35 Prozent [833320] der verwendeten Punkte

Mittl. Lagefehler dieser Objektpunkte = 67.27[m]

Matching D:

Anzahl der urspr. Punkte = 1369553

Anzahl der Objektpunkte = 1357679 , die alle Kriterien erfuehlen und verwendet werden

99.13 Prozent der urspruenglichen Punkte werden verwendet.

Mittlerer Lagefehler aller Objektpunkte = 76.31[m]

2 Strahlen: 40.46 Prozent [549265] der verwendeten Punkte

Mittl. Lagefehler dieser Objektpunkte = 121.46[m]

3 Strahlen: 59.54 Prozent [808414] der verwendeten Punkte

Mittl. Lagefehler dieser Objektpunkte = 45.64[m]

8.3 Anhang C

Bestimmung der Matching-Dauer aus der Kommandozeile

Streifen h0894:

Matching A:

```
schmitz/Bilder_h0894> set GRID = 2
schmitz/Bilder_h0894> set MINPMK = 0.4
schmitz/Bilder_h0894> set LINE_SCOPE = 3,3,3,3
schmitz/Bilder_h0894> set SAMP_SCOPE = 3,3,3,3
schmitz/Bilder_h0894> set NO_PYR = 4
schmitz/Bilder_h0894>
schmitz/Bilder_h0894> date
Di Mai 10 16:09:06 CEST 2005
schmitz/Bilder_h0894> $HWLIB/dlrmatch2
inp=mat/h0894_0000.nd3.04,mat/h0894_0000.s13.04,mat/h0894_0000.s23.04
out=mat/tpf_mat_2_04_3333 \
?
? grid=$GRID minpmk=$MINPMK smp_scop=$SAMP_SCOPE lne_scop=$LINE_SCOPE
no_pyr=$NO_PYR \
?
Beginning VICAR task DLRMATCH2
data set up: 0
this is the end!
schmitz/Bilder_h0894> date
Di Mai 10 17:19:52 CEST 2005
```

Matching B:

```
schmitz/Bilder_h0894> set GRID = 2
schmitz/Bilder_h0894> set MINPMK = 0.6
schmitz/Bilder_h0894> set LINE_SCOPE = 3,3,3,3
schmitz/Bilder_h0894> set SAMP_SCOPE = 3,3,3,3
schmitz/Bilder_h0894> set NO_PYR = 4
schmitz/Bilder_h0894>
schmitz/Bilder_h0894> date
Di Mai 10 17:29:07 CEST 2005
schmitz/Bilder_h0894> $HWLIB/dlrmatch2
inp=mat/h0894_0000.nd3.04,mat/h0894_0000.s13.04,mat/h0894_0000.s23.04
out=mat/tpf_mat_2_06_3333 \
?
? grid=$GRID minpmk=$MINPMK smp_scop=$SAMP_SCOPE lne_scop=$LINE_SCOPE
no_pyr=$NO_PYR \
?
Beginning VICAR task DLRMATCH2
data set up: 0
this is the end!
schmitz/Bilder_h0894> date
Di Mai 10 18:19:11 CEST 2005
```

Matching C:

```
schmitz/Bilder_h0894> set GRID = 2
schmitz/Bilder_h0894> set MINPMK = 0.4
schmitz/Bilder_h0894> set LINE_SCOPE = 3,3,3,3
schmitz/Bilder_h0894> set SAMP_SCOPE = 3,3,3,3
schmitz/Bilder_h0894> set NO_PYR = 4
schmitz/Bilder_h0894>
schmitz/Bilder_h0894> date
Di Mai 10 18:37:01 CEST 2005
schmitz/Bilder_h0894> $HWLIB/dlrmatch2
inp=mat_a/h0894_0000.nd3.04,mat_a/h0894_0000.s13.04,mat_a/h0894_0000.s23.04
out=mat_a/tpf_mat_a_2_04_3333 \
?
? grid=$GRID minpmk=$MINPMK smp_scop=$SAMP_SCOPE lne_scop=$LINE_SCOPE
no_pyr=$NO_PYR \
?
Beginning VICAR task DLRMATCH2
data set up: 0
this is the end!
schmitz/Bilder_h0894> date
Di Mai 10 19:50:35 CEST 2005
```

Matching D:

```
schmitz/Bilder_h0894> set GRID = 2
schmitz/Bilder_h0894> set MINPMK = 0.6
schmitz/Bilder_h0894> set LINE_SCOPE = 3,3,3,3
schmitz/Bilder_h0894> set SAMP_SCOPE = 3,3,3,3
schmitz/Bilder_h0894> set NO_PYR = 4
schmitz/Bilder_h0894>
schmitz/Bilder_h0894> date
Di Mai 10 20:28:45 CEST 2005
schmitz/Bilder_h0894> $HWLIB/dlrmatch2
inp=mat_a/h0894_0000.nd3.04,mat_a/h0894_0000.s13.04,mat_a/h0894_0000.s23.04
out=mat_a/tpf_mat_a_2_06_3333 \
?
? grid=$GRID minpmk=$MINPMK smp_scop=$SAMP_SCOPE lne_scop=$LINE_SCOPE
no_pyr=$NO_PYR \
?
Beginning VICAR task DLRMATCH2
data set up: 0
this is the end!
schmitz/Bilder_h0894> date
Di Mai 10 21:18:37 CEST 2005
```

Streifen h0905:

Matching A:

```
schmitz/Bilder_h0905> set GRID = 2
schmitz/Bilder_h0905> set MINPMK = 0.4
schmitz/Bilder_h0905> set LINE_SCOPE = 3,3,3,3
schmitz/Bilder_h0905> set SAMP_SCOPE = 3,3,3,3
schmitz/Bilder_h0905> set NO_PYR = 4
schmitz/Bilder_h0905>
schmitz/Bilder_h0905> date
So Mai 15 13:18:12 CEST 2005
schmitz/Bilder_h0905> $HWLIB/dlrmatch2
inp=mat/h0905_0000.nd3.08,mat/h0905_0000.s13.08,mat/h0905_0000.s23.08
out=mat/tpf_mat_2_04_3333 \
?
? grid=$GRID minpmk=$MINPMK smp_scop=$SAMP_SCOPE lne_scop=$LINE_SCOPE
no_pyr=$NO_PYR \
?
Beginning VICAR task DLRMATCH2
data set up: 0
this is the end!
schmitz/Bilder_h0905> date
So Mai 15 14:24:08 CEST 2005
```

Matching B:

```
schmitz/Bilder_h0905> set GRID = 2
schmitz/Bilder_h0905> set MINPMK = 0.6
schmitz/Bilder_h0905> set LINE_SCOPE = 3,3,3,3
schmitz/Bilder_h0905> set SAMP_SCOPE = 3,3,3,3
schmitz/Bilder_h0905> set NO_PYR = 4
schmitz/Bilder_h0905>
schmitz/Bilder_h0905> date
So Mai 15 14:31:02 CEST 2005
schmitz/Bilder_h0905> $HWLIB/dlrmatch2
inp=mat/h0905_0000.nd3.08,mat/h0905_0000.s13.08,mat/h0905_0000.s23.08
out=mat/tpf_mat_2_06_3333 \
?
? grid=$GRID minpmk=$MINPMK smp_scop=$SAMP_SCOPE lne_scop=$LINE_SCOPE
no_pyr=$NO_PYR \
?
Beginning VICAR task DLRMATCH2
data set up: 0
this is the end!
schmitz/Bilder_h0905> date
So Mai 15 15:26:37 CEST 2005
```

Matching C:

```
schmitz/Bilder_h0905> set GRID = 2
schmitz/Bilder_h0905> set MINPMK = 0.4
schmitz/Bilder_h0905> set LINE_SCOPE = 3,3,3,3
schmitz/Bilder_h0905> set SAMP_SCOPE = 3,3,3,3
schmitz/Bilder_h0905> set NO_PYR = 4
schmitz/Bilder_h0905>
schmitz/Bilder_h0905> date
Di Mai 10 11:21:14 CEST 2005
schmitz/Bilder_h0905> $HWLIB/dlrmatch2
inp=mat_a/h0905_0000.nd3.08,mat_a/h0905_0000.s13.08,mat_a/h0905_0000.s23.08
out=mat_a/tpf_mat_a_2_04_3333 \
?
? grid=$GRID minpmk=$MINPMK smp_scop=$SAMP_SCOPE lne_scop=$LINE_SCOPE
no_pyr=$NO_PYR \
?
Beginning VICAR task DLRMATCH2
data set up: 0
this is the end!
schmitz/Bilder_h0905> date
Di Mai 10 12:27:48 CEST 2005
```

Matching D:

```
schmitz/Bilder_h0905> set GRID = 2
schmitz/Bilder_h0905> set MINPMK = 0.6
schmitz/Bilder_h0905> set LINE_SCOPE = 3,3,3,3
schmitz/Bilder_h0905> set SAMP_SCOPE = 3,3,3,3
schmitz/Bilder_h0905> set NO_PYR = 4
schmitz/Bilder_h0905>
schmitz/Bilder_h0905> date
Di Mai 10 12:41:57 CEST 2005
schmitz/Bilder_h0905> $HWLIB/dlrmatch2
inp=mat_a/h0905_0000.nd3.08,mat_a/h0905_0000.s13.08,mat_a/h0905_0000.s23.08
out=mat_a/tpf_mat_a_2_06_3333 \
?
? grid=$GRID minpmk=$MINPMK smp_scop=$SAMP_SCOPE lne_scop=$LINE_SCOPE
no_pyr=$NO_PYR \
?
Beginning VICAR task DLRMATCH2
data set up: 0
this is the end!
schmitz/Bilder_h0905> date
Di Mai 10 13:34:40 CEST 2005
```

Streifen h0927:

Matching A:

```
schmitz/Bilder_h0927> set GRID = 2
schmitz/Bilder_h0927> set MINPMK = 0.4
schmitz/Bilder_h0927> set LINE_SCOPE = 3,3,3,3
schmitz/Bilder_h0927> set SAMP_SCOPE = 3,3,3,3
schmitz/Bilder_h0927> set NO_PYR = 4
schmitz/Bilder_h0927>
schmitz/Bilder_h0927> date
Do Mai 12 18:19:18 CEST 2005
schmitz/Bilder_h0927> $HWLIB/dlrmatch2
inp=mat/h0927_0000.nd3.06,mat/h0927_0000.s13.06,mat/h0927_0000.s23.06
out=mat/tpf_mat_2_04_3333 \
?
?
Beginning VICAR task DLRMATCH2
data set up: 0
this is the end!
schmitz/Bilder_h0927> date
Do Mai 12 19:16:05 CEST 2005
```

Matching B:

```
schmitz/Bilder_h0927> set GRID = 2
schmitz/Bilder_h0927> set MINPMK = 0.6
schmitz/Bilder_h0927> set LINE_SCOPE = 3,3,3,3
schmitz/Bilder_h0927> set SAMP_SCOPE = 3,3,3,3
schmitz/Bilder_h0927> set NO_PYR = 4
schmitz/Bilder_h0927>
schmitz/Bilder_h0927> date
Fr Mai 13 10:11:08 CEST 2005
schmitz/Bilder_h0927> $HWLIB/dlrmatch2
inp=mat/h0927_0000.nd3.06,mat/h0927_0000.s13.06,mat/h0927_0000.s23.06
out=mat/tpf_mat_2_06_3333 \
?
? grid=$GRID minpmk=$MINPMK smp_scop=$SAMP_SCOPE lne_scop=$LINE_SCOPE
no_pyr=$NO_PYR \
?
Beginning VICAR task DLRMATCH2
data set up: 0
this is the end!
schmitz/Bilder_h0927> date
Fr Mai 13 10:59:21 CEST 2005
```

Matching C:

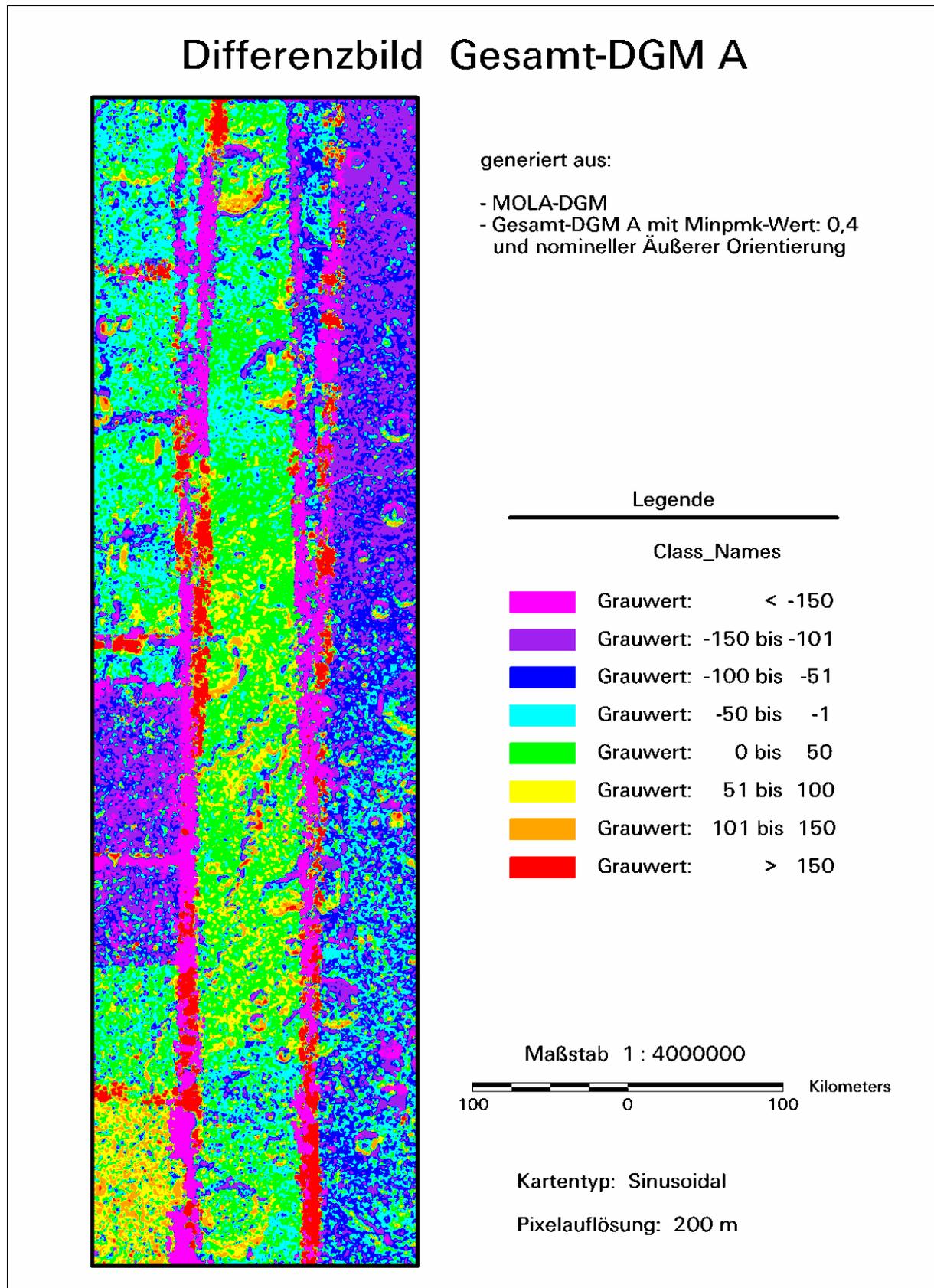
```
schmitz/Bilder_h0927> set GRID = 2
schmitz/Bilder_h0927> set MINPMK = 0.4
schmitz/Bilder_h0927> set LINE_SCOPE = 3,3,3,3
schmitz/Bilder_h0927> set SAMP_SCOPE = 3,3,3,3
schmitz/Bilder_h0927> set NO_PYR = 4
schmitz/Bilder_h0927>
schmitz/Bilder_h0927> date
Fr Mai 13 16:26:03 CEST 2005
schmitz/Bilder_h0927> $HWLIB/dlrmatch2
inp=mat_a/h0927_0000.nd3.06,mat_a/h0927_0000.s13.06,mat_a/h0927_0000.s23.06
out=mat_a/tpf_mat_a_2_04_3333 \
?
? grid=$GRID minpmk=$MINPMK smp_scop=$SAMP_SCOPE lne_scop=$LINE_SCOPE
no_pyr=$NO_PYR \
?
Beginning VICAR task DLRMATCH2
data set up: 0
this is the end!
schmitz/Bilder_h0927> date
Fr Mai 13 17:19:55 CEST 2005
```

Matching D:

```
schmitz/Bilder_h0927> set GRID = 2
schmitz/Bilder_h0927> set MINPMK = 0.6
schmitz/Bilder_h0927> set LINE_SCOPE = 3,3,3,3
schmitz/Bilder_h0927> set SAMP_SCOPE = 3,3,3,3
schmitz/Bilder_h0927> set NO_PYR = 4
schmitz/Bilder_h0927>
schmitz/Bilder_h0927> date
Fr Mai 13 17:37:01 CEST 2005
schmitz/Bilder_h0927> $HWLIB/dlrmatch2
inp=mat_a/h0927_0000.nd3.06,mat_a/h0927_0000.s13.06,mat_a/h0927_0000.s23.06
out=mat_a/tpf_mat_a_2_04_3333 \
?
? grid=$GRID minpmk=$MINPMK smp_scop=$SAMP_SCOPE lne_scop=$LINE_SCOPE
no_pyr=$NO_PYR \
?
Beginning VICAR task DLRMATCH2
data set up: 0
this is the end!
schmitz/Bilder_h0927> date
Fr Mai 13 18:22:28 CEST 2005
```

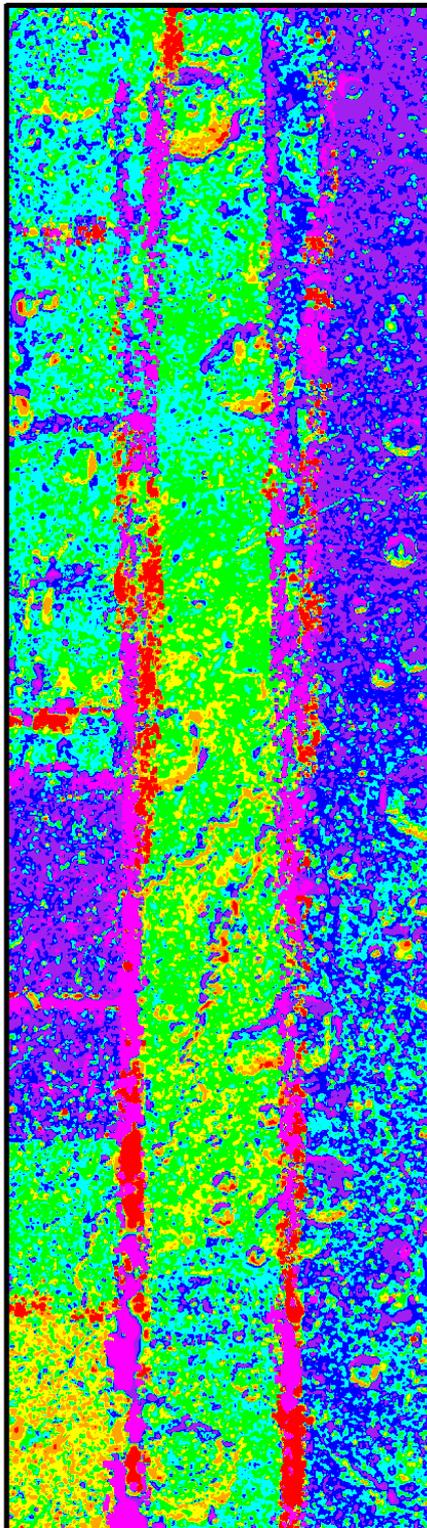
8.4 Anhang D

Anhang D 1



Anhang D 2

Differenzbild Gesamt-DGM B



generiert aus:

- MOLA-DGM
- Gesamt-DGM B mit Minpmk-Wert: 0,6 und nomineller Äußerer Orientierung

Legende

Class_Names

	Grauwert: < -150
	Grauwert: -150 bis -101
	Grauwert: -100 bis -51
	Grauwert: -50 bis -1
	Grauwert: 0 bis 50
	Grauwert: 51 bis 100
	Grauwert: 101 bis 150
	Grauwert: > 150

Maßstab 1 : 4000000

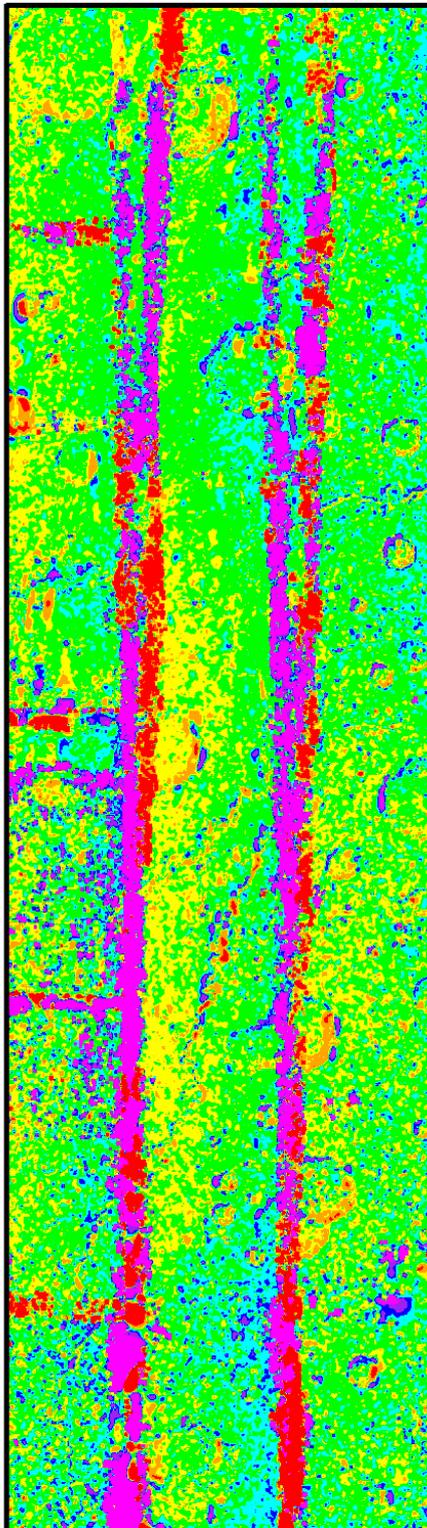


Kartentyp: Sinusoidal

Pixelauflösung: 200 m

Anhang D 3

Differenzbild Gesamt-DGM C



generiert aus:

- MOLA-DGM
- Gesamt-DGM C mit Minpmk-Wert: 0,4 und verbesserter Äußerer Orientierung

Legende

Class_Names

	Grauwert: < -150
	Grauwert: -150 bis -101
	Grauwert: -100 bis -51
	Grauwert: -50 bis -1
	Grauwert: 0 bis 50
	Grauwert: 51 bis 100
	Grauwert: 101 bis 150
	Grauwert: > 150

Maßstab 1 : 4000000

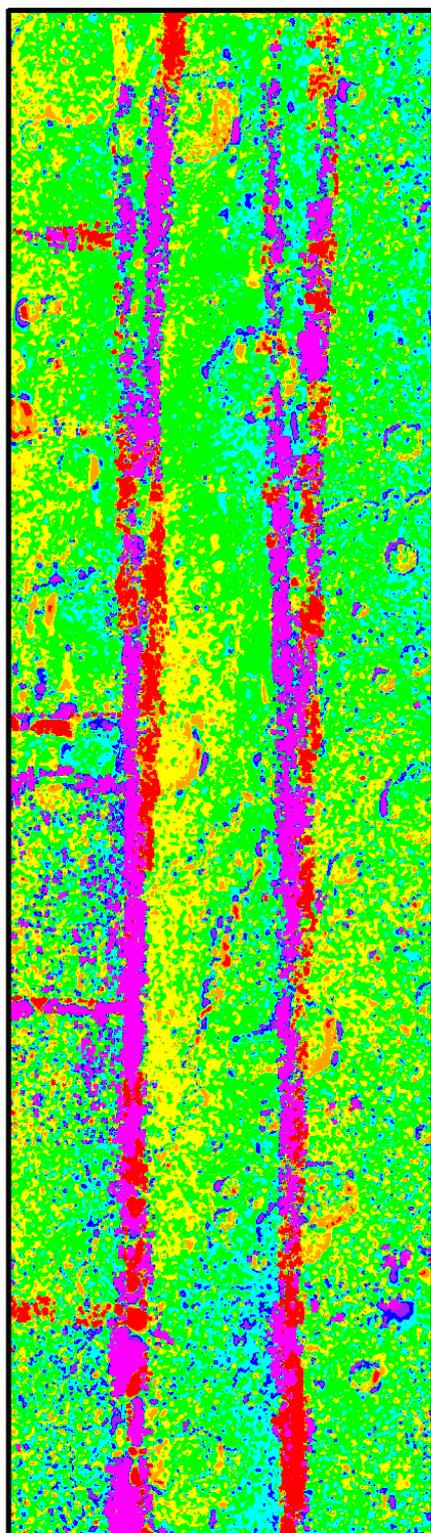


Kartentyp: Sinusoidal

Pixelauflösung: 200 m

Anhang D 4

Differenzbild Gesamt-DGM D



generiert aus:

- MOLA-DGM
- Gesamt-DGM D mit Minpmk-Wert: 0,6 und verbesserter Äußerer Orientierung

Legende

Class_Names

	Grauwert: < -150
	Grauwert: -150 bis -101
	Grauwert: -100 bis -51
	Grauwert: -50 bis -1
	Grauwert: 0 bis 50
	Grauwert: 51 bis 100
	Grauwert: 101 bis 150
	Grauwert: > 150

Maßstab 1 : 4000000

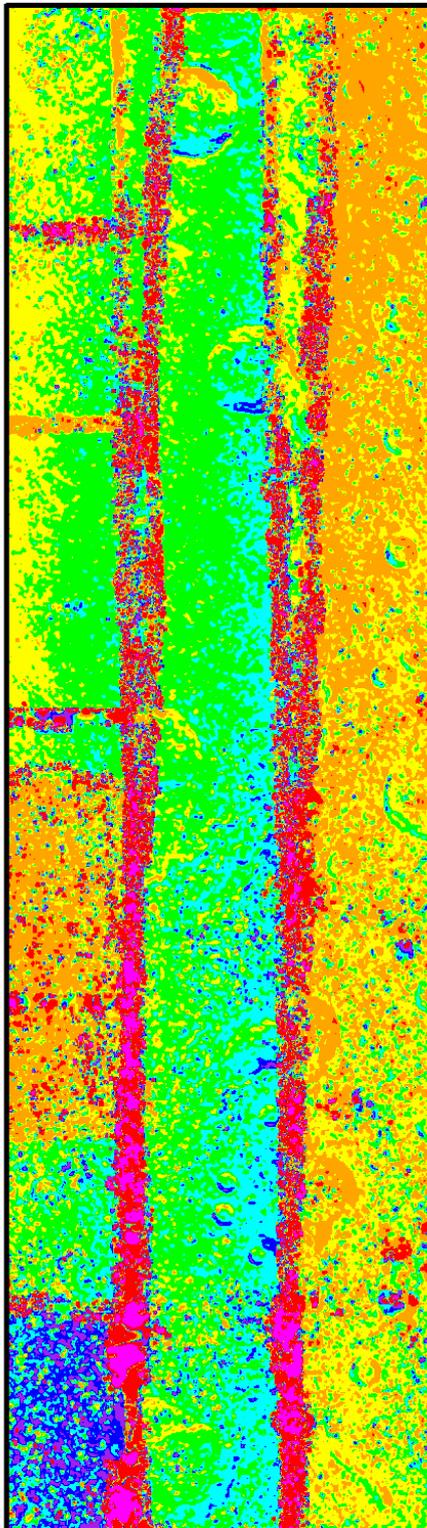


Kartentyp: Sinusoidal

Pixelauflösung: 200 m

Anhang D 5

Differenzbild Gesamt-DGM X



generiert aus:

- Gesamt-DGM A mit Minpmk-Wert: 0,4 und nomineller Äußerer Orientierung
- Gesamt-DGM C mit Minpmk-Wert: 0,4 und verbesserter Äußerer Orientierung

Legende

Class_Names

	Grauwert: < -150
	Grauwert: -150 bis -101
	Grauwert: -100 bis -51
	Grauwert: -50 bis -1
	Grauwert: 0 bis 50
	Grauwert: 51 bis 100
	Grauwert: 101 bis 150
	Grauwert: > 150

Maßstab 1 : 4000000

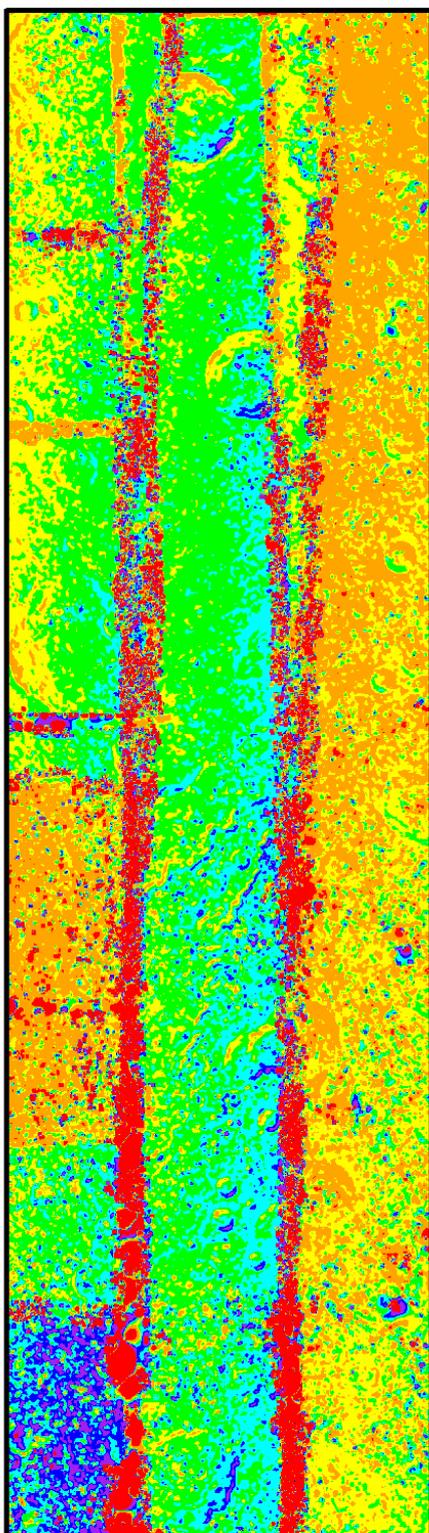


Kartentyp: Sinusoidal

Pixelauflösung: 200 m

Anhang D 6

Differenzbild Gesamt-DGM Y



generiert aus:

- Gesamt-DGM B mit Minpmk-Wert: 0,6 und nomineller Äußerer Orientierung
- Gesamt-DGM D mit Minpmk-Wert: 0,6 und verbesserter Äußerer Orientierung

Legende

Class_Names

	Grauwert: < -150
	Grauwert: -150 bis -101
	Grauwert: -100 bis -51
	Grauwert: -50 bis -1
	Grauwert: 0 bis 50
	Grauwert: 51 bis 100
	Grauwert: 101 bis 150
	Grauwert: > 150

Maßstab 1 : 4000000



Kartentyp: Sinusoidal

Pixelauflösung: 200 m