
DEM Generierung aus ASTER Daten und Evaluierung

Josef GSPURNING und Wolfgang SULZER

Zusammenfassung

Die Evaluierung der ASTER DEM verfolgt zwei Ziele: Zum einen soll eine bereits erprobte Analyseprozedur erweitert werden, zum anderen soll damit der qualitative Unterschied zwischen relativen und vom Anwender errechneten ASTER DEM Daten nachvollziehbar überprüft werden. In diesem Zusammenhang wird im Rahmen dieser Studie auch versucht, Möglichkeiten und Problemfelder der Erstellung von ASTER DEM's aus Level 1 Daten im Hochgebirgsrelief aufzuzeigen und somit einen Beitrag zur vergleichenden Qualitätsbestimmung digitaler Höhenmodelle zu leisten.

1 Einleitung

Die Beschäftigung innerhalb der wissenschaftlichen Literatur mit dem Qualitätsvergleich von ASTER Höhenmodellen beschränkt sich vielfach auf die frei verfügbaren DEM's mit den nationalen Höhenmodellen bzw. auf selbstgenerierte ASTER-DEM's mit anderen Höhenmodelquellen wie mit Topographischen Karten, RADAR-DEM's usw. (HIRANO ET AL. 2003, SUBRAMAMANIAN ET AL O.J., ECKERT & KELLENBERGER 2002). In dieser Arbeit wird zusätzlich das frei verfügbare ASTER DEM mit einem selbsterstellten ASTER DEM verglichen und deren Genauigkeit analysiert. Die Arbeiten basieren auf Analysen von GSPURNING & DREXEL (2004) und wurden mit dem Aspekt des selbstgenerierten ASTER DEM's erweitert.

Die ASTER-Szene wurde für ein Gebiet ausgewählt, das sowohl den reliefbedingten Anforderungen (von der Ebene über ein Hügelland bis zum Hochgebirgsrelief, vom Kleinrelief bis zu übergeordneten Großformen) als auch den unterschiedlichen Anforderungen an Bodenbedeckungseinheiten (Wasserflächen, Siedlungen, Äcker, Wiesen, Wald, Almregionen bis hin zu Feld und schneebedeckten Gipfelregionen), die wesentlich auf Image Matching Verfahren Einfluss haben, gerecht wird. Zusätzlich sollte es ein Gebiet sein, in dem die Basisdatengrundlage nicht so leicht verfügbar ist, wie etwa in Österreich, um das Verhältnis Aufwand und Nutzen zu dokumentieren. Das Untersuchungsgebiet liegt im westlichen Teil der Hohen Tatra (Abb. 1), nördlich der Stadt Liptovsky Mikuláš, mit einer Vertikalerstreckung im Váh Tal von 600m bis hinauf auf 2184m (Baranec).

Die Schwerpunkte des vorliegenden Benchmarkings liegen in drei Bereichen: Umfang des Tests, Methodik und weiterführende inhaltliche Analysen. Anders als bei ähnlich gelagerten Studien basieren die Aussagen nicht auf mehr oder weniger repräsentativen Samples sondern auf dem Gesamtmodell. Dies kommt einer Vollerhebung bei Nominalauflösung gleich und berücksichtigt in gleicher Weise das nationale (und mittels GPS überprüfte) DEM, das relative ASTER- DEM und das am Institut für Geographie und Raumforschung aus den Originärdaten abgeleitete ASTER- Modell.

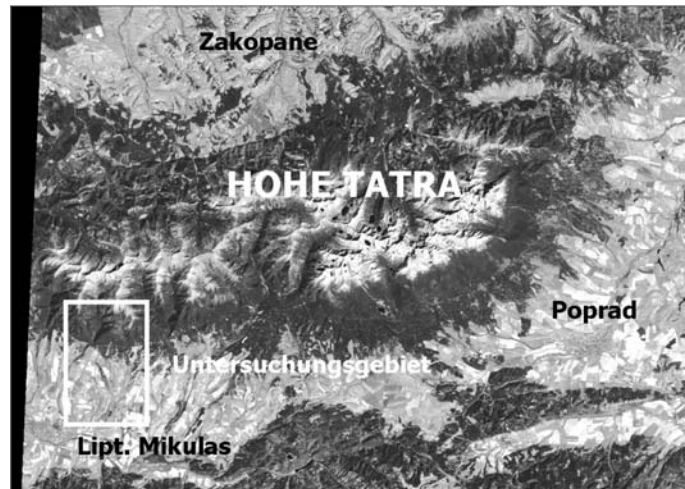


Abb. 1: Lage des Untersuchungsgebietes im SW der Hohen Tatra

2 Das ASTER Instrumentarium

Das Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer – Sensor ist Teil der Terra – Instrumentenplattform, eines Erdbeobachtungssystems der NASA, das im Dezember 1999 gestartet wurde. ASTER umfasst ein weites Spektralband mit 14 Kanälen, das vom sichtbaren bis in den thermischen Bereich bei einer hohen räumlichen, spektralen und radiometrischen Auflösung reicht. Die Spektralbereiche werden mit drei Teleskopen aufgenommen, drei VNIR (Visible and Near Infrared Radiometer) Kanäle mit einer räumlichen Auflösung von 15 m, sechs SWIR (Short Wave Infrared Radiometer) Kanäle mit 30 m und fünf TIR (Thermal Infrared Radiometer) Kanäle mit 90 m. Zusätzlich zu den Nadir-Aufnahmen wird ein Teleskop für eine Schrägaufnahme gegen die Flugrichtung im NIR Kanal (Band 3B) verwendet, das die stereoskopische Betrachtung ermöglicht. Der Terra Satellit fliegt eine polnahe Umlaufbahn in einer Höhe von 705 km. Der Orbit ist sonnensynchron bei einer Überschreitung des Äquators um 10:30 (Lokalzeit). Damit unterscheidet sich der Orbit vom LANDSAT-System nur durch die unterschiedliche Lokalzeit. Die Repetitionsrate beträgt 16 Tage.

Inzwischen (Stand: Mitte Dezember 2003) hat sich die beachtliche Menge von ca. 920.000 Bildern unterschiedlichster Sensoren angesammelt. Es kann davon ausgegangen werden, dass bei der gegenwärtigen Bearbeitungsrate durch das EROS Data Center (ein 60km x 60km Stereopaar pro Tag) etwa 2006 die letzten Bilder des Bereichs zwischen 82° N und 82° S der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden können (ABRAMS & HOOK 2003; ERSDAC 2002).

Das ASTER Instrumentarium besitzt zwei Typen von Level-1 Daten: Level-1A und Level-1B. Level-1A Daten sind formell als „reconstructed, unprocessed instrument data at full

resolution“ definiert. Gemäß dieser Definition bestehen die ASTER Level-1A Daten aus den originären Bild-Daten, den radiometrischen, geometrischen und zusätzlichen Informationen. Die Informationen werden in den Metadaten abgespeichert. Die Level-1B Daten werden entsprechend dieser Informationen radiometrisch und geometrisch vorverarbeitet. Mit Hilfe der geometrischen Parametern und den Satellitenbahninformationen können aus den Level-1A Daten DEM's (Digital Elevation Model) erstellt werden.

Für die DEM Erstellung werden die beiden VNIR – Kanäle 3N und 3B ($0,78 - 0,86 \mu$) mit einer Bodenauflösung von etwa 15 Metern sowohl nadir- als auch rückwärts gerichtet aufgezeichnet. Durch die Anordnung der zwei Teleskope wird ein Basis-Höhen-Verhältnis von 0.6 erreicht. Der Aufnahmewinkel beträgt 30.96° . Unter Berücksichtigung der Erdkrümmung beträgt der Winkel zwischen Nadir und rückwärtsgerichtetem Teleskop 27.60° .

3 Die DEM Erstellung mit ASTER Daten

Die Berechnung von Digitalen Höhenmodellen aus Stereo-Satellitenbilddaten ist kein neuer Ansatz. Seit dem Start des SPOT-Satelliten im Jahre 1986 mit einer räumlichen Auflösung von 10/20m sind es neben den hier vorgestellten ASTER-Daten u.a. IKONOS, EROS und QuickBird, die in verschiedenen Aufnahmemodi stereoskopische Auswertungen bis in den Meterbereich ermöglichen.

Mit der kostenlosen Verfügbarkeit von ASTER DEM Daten und der Möglichkeit relativ kostengünstig Höhenmodelle zu bestellen bzw. selbst zu generieren, werden diese Höhenmodelle in zahlreiche GIS- und Fernerkundungs-Applikationen eingebunden.

Im folgenden wird der Produktionsablauf der im WWW frei verfügbaren ASTER und der mit ERDAS IMAGINE erstellten Höhenmodelle kurz dokumentiert.

Aufgrund der Systemkonfiguration können prinzipiell 2 Varianten desselben Höhendatensatzes berechnet werden. Absolute DEM's nutzen zur Georeferenzierung externe, von Anwender bereitzustellende Ground Control Points (GCP's), bei den sogenannten relative DEM's wird auf diese Miteinbeziehung externer Referenzen (GCP) verzichtet.

Für die Praxis bedeutet dies, dass sich die horizontale bzw. vertikale Abweichung von maximal 7 Metern auf maximal 10 Meter vergrößert, was beispielsweise noch immer innerhalb der Toleranzgrenzen für US – Kartenmaterial der Maßstabsbereiche 1:250000 bis 1:50000 liegt (ERSDAC 1999, ERSDAC 2001, USGS 2003). Die Auslieferung der Daten erfolgt in etwa 25 Mb großen tiles, die bei einer Bilddimension von 2500 Zeilen und 2500 Spalten und einer Auflösung von 30m pro Pixel etwa eine Fläche von 60km x 60km zu abdecken. Als Datenformat aller ASTER-Daten findet die EOS – Variante von HDF (hierarchical data format) Verwendung, wobei in zusätzlichen MET – Dateien ein erweiterter Metadatensatz mitgeliefert wird.

Der Ablauf bei der Erstellung der ASTER DEM's sieht zusammengefasst wie folgt aus (ERSDAC 2002):

- 1) INPUT sind Level-1A Bilddaten (3N und 3B).
- 2) Einbindung eines grobauflösenden DEM (GTOPO30).

- 3) Radiometrische Korrektur der Originaldaten,
- 4) Erstellung von zwei herabskalierten Bildern („compressed images“) als Grundlage für ein grobes „Image Matching“ Verfahren. Die Skalierungswerte sind 1/2 und 1/4.
- 5) Evaluierung der Möglichkeit eines „Image Matchings“. Wolken, Wasserflächen und Bildrandbereiche werden hier ausmaskiert.
- 6) Durchführen der 1. Stufe des „Image Matchings“ mit 1/4 „compressed images“ und Berechnung der Parallaxe.
- 7) Durchführen der 2. Stufe des „Image Matchings“ mit 1/2 „compressed images“ und Berechnung der Parallaxe.
- 8) Durchführen der 3. Stufe des „Image Matchings“ mit dem voll aufgelösten Bilddaten und die aus der 2. Stufe abgeleiteten „Image Matching“ Daten. Das Korrelationsfenster beträgt 9x9 Pixel. Vor dem „Image Matching“ wird jede Bildverzerrung, die durch das Relief hervorgerufen wird, korrigiert, um die Korrelation zu verbessern.
- 9) Berechnung der X, Y, and Z Werte für jedes 2. Pixel (entspricht etwa 30 m). Dieser Schritt beinhaltet u.a. die Erstellung eines „line of sight (LOS) vectors“ für den Kanal 3N und 3B.
- 10) X, Y, Z Werte, die als ECR Koordinaten ausgedrückt werden.
- 11) Berechnung der Ellipsoid Basis (WGS-84), der Höhendaten („height data“) mit den X,Y, Z Werten.
- 12) Berechnung der Höhendaten auf eine ausgewählte Kartenprojektion.
- 13) Output Kartenprojektionshöhenwerte (Z Datenwerte).

Die erstellten Höhenwerte basieren auf das WGS-84 Ellipsoid. Die Höhe ist nicht als Ellipsoid-Basis sondern als Geoid-Basis definiert. Die räumliche Auflösung der Daten ist 30m (1 Gradsekunde der Geographischen Koordinaten). Der Wert -9999 wird Wasserflächen bzw. Gebieten ohne Höheninformation zugeordnet.

Bei der Erstellung eigener ASTER DEM's wurde größtenteils eine Anregung von GEOSYSTEMS (GEOSYSTEMS, 2002) aufgegriffen. Die dort vorgeschlagene Prozessierung wurde für die Charakteristika der vorliegenden ASTER Szene adaptiert. Als horizontale Referenz standen Touristenkarten im Maßstab 1:50.000 zur Verfügung. Als vertikale Referenz wurde das SRTM Höhenmodell herangezogen. Die Berechnung des DEM's erfolgte in ERDAS IMAGINE OrthoBASE Pro.

Folgender Arbeitslauf wurde eingehalten:

- 1) Input Level 1a Daten
- 2) Radiometrische Korrektur und „Image Enhancement“
- 3) Definition der Sensorparameter
- 4) Bestimmung der Verknüpfungspunkte
- 5) Bestimmung der GCP's (X, Y Werte: Topographische Karte 1:50.000 bzw. Shade Image von SRTM; Z-Werte: SRTM)
- 6) Durchführung der Triangulierung
- 7) Berechnung des DEM
- 8) „Postprocessing“ (Qualitätskontrolle/Filteroperationen/manuelles Editieren)
- 9) Berechnung der Orthophotos

10) Einbindung in den STEREO ANALYST

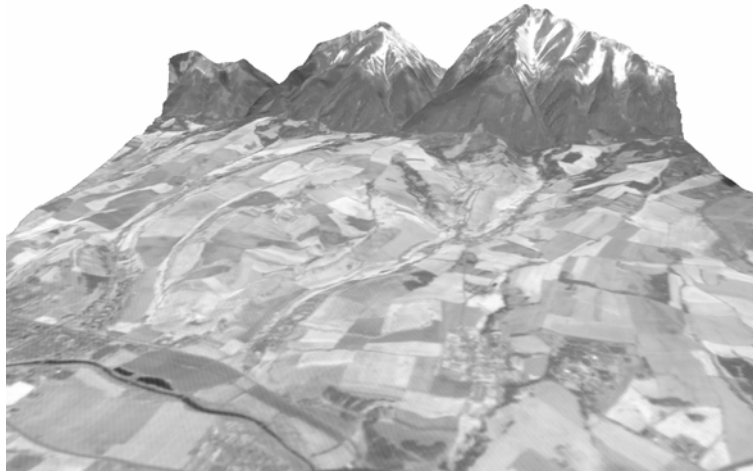


Abb. 2: Schrägsicht der georeferenzierten Nadir-Aufnahme im engeren Untersuchungsgebiet (2,5 fach überhöht).

Folgende Problembereiche bei der Erstellung des Höhenmodells sind anzumerken:

- **Datenqualität:**

- Die vorliegende ASTER-Szene zeigt das für ASTER typische „*striping*“, das sich vor allem bei der Verknüpfungspunktsuche bzw. bei der DEM-Berechnung einschränkend auswirkt und das entweder vor der DEM Berechnung oder in einem Postprocessing minimiert werden kann (ECKERT & KELLENBERGER 2002).

- Allgemeiner *Kontrast* der Szene: Durch die Lage des Untersuchungsgebietes innerhalb bzw. am Rande einer Hochgebirgslandschaft mit sehr viel „dunklem“ Wald-Anteil, überstrahlende Schneeflächen bzw. „helle“ landwirtschaftlich Nutzflächen ergeben sich ebenfalls Einschränkungen.

- *Aufnahmezeitpunkt*: Die ASTER-Szene wurde Anfang April aufgenommen. Zu diesem Aufnahmezeitpunkt existieren in Hochgebirgsregionen noch ausgedehnte Schneeflächen, die Vegetation in den angrenzenden Vorländern ist noch nicht voll entwickelt. Zusätzlich beeinflusst der niedrige Sonnenstand und somit die Ausleuchtung des reliefierten Untersuchungsgebietes negativ auf die Datenqualität.

- **Gebirgslandschaft:**

- *Gebirgs- und Hochgebirgslandschaften* wirken sich aufgrund verschiedener Einflussparameter (u.a. Schatten, Relief, Wolken, Dunst, Schnee, etc.) einschränkend auf die Fernerkundung aus (BUCHROTHNER & KOSTKA 1997).

- Zusätzlich kommt noch die *Aufnahmerichtung* des ASTER-Teleskops gegen Nord, das insbesondere die Auswertbarkeit nordexponierter Hänge negativ beeinflusst bzw. unmöglich macht (KÄÄB ET AL. 2002).

- **Referenzdaten:**

- Amtliche *Topographische Karten* der Slowakei standen nicht zur Verfügung. Somit mussten Touristenkarten im Maßstab 1:50.000 (ohne Kartenprojektionsangabe)

herangezogen werden. Diese wurden eingescannt, georeferenziert und mosaikiert. Dabei hat sich herausgestellt, dass sowohl das in den Karten vorhandene Gitternetz als auch der Karteninhalt in den Überlappungsbereichen keine Übereinstimmung besitzt. Die Geländesituation (Kamm- und Gewässerverlauf, Isolinien, Höhenkoten) entspricht nicht immer der Realität. Bei der Einbindung der Karten in das OrthoBASE Projekt als horizontale Referenz stellten sich bei der Residuenberechnung signifikante Fehler ein. Eine Lösung dieser Referenzprobleme lieferte das frei verfügbare SRTM-Höhenmodell dieser Region. Die SRTM Daten besitzen eine räumliche Auflösung von ca. 70m. Nach Interpolation der Datenlücken konnte mit mehreren s.g. Hillshades unterschiedlicher Beleuchtungsrichtungen eine qualitativ ausreichende horizontale Referenz in den Verarbeitungsprozess eingebunden werden.

3 Evaluierung

Über die Vorzüge der ASTER – Höhendaten und ihre Problematik bzw. die Notwendigkeit einer weiter reichenden Qualitätsüberprüfung wurde in diesem Text und mehrfach auch an anderer Stelle (KAMP & BOLCH & OLSENHOLLER 2003 sowie BOLCH & KAMP 2003) hingewiesen. Auch die dieser Arbeit zu Grunde liegende Methodik wurde in DREXEL & GSPURNING ausführlich diskutiert, sodass sich die Darstellung auf die für das Verständnis absolut notwendigen Inhalte bzw. auf die in dieser Untersuchung vorgenommenen Modifikationen und Ergänzungen beschränken kann. Das eingesetzte Verfahren beruht auf dem Vergleich der unterschiedlichen ASTER-Datensätze mit einem nationalen 25m – Referenzmodell, wobei der Einfluss der unterschiedlichen Qualität auf die Z-Komponente bzw. daraus abgeleitete Reliefparameter untersucht wird. Qualitätseinbußen werden dadurch als Abweichungen von den Parametern des Referenzmodells erkenn- und quantifizierbar. Besonderes Augenmerk wird dabei auf den Vergleich mit der Relativvariante des ASTER – Datensatzes gelegt. Eine detailliertere Bewertung des Phänomens muss wegen der relativen Grobmaschigkeit des Testmodells aber unterbleiben.

Als wichtigster Parameter für die Qualitätsbeurteilung wurde in einem ersten Schritt die Z-Differenz zwischen Vergleichs- und ASTER-Modellen analysiert. Aus Tab. 1 und Abb. 3 wird ersichtlich, dass das Modell Tatra/neu was die Extrema anbelangt weit besser an das Referenzmodell angepasst erscheint als die relative Variante. Die Zentraltendenzmaße scheinen diesen Befund zu stützen.

Tab. 1: Deskriptive Kennwerte der Höhenabweichung zwischen dem Referenzmodell und den Testgebieten

	Tatra/alt	Tatra/neu
Minimum	-125,000	-89,500
1. Quartil	-3,000	5,000
Arith. Mittel	4,463	4,726
Median	5,000	5,500
3. Quartil	14,000	1,721
Maximum	363,000	163,500

Standardabweichung	22,669	10,870
---------------------------	--------	--------

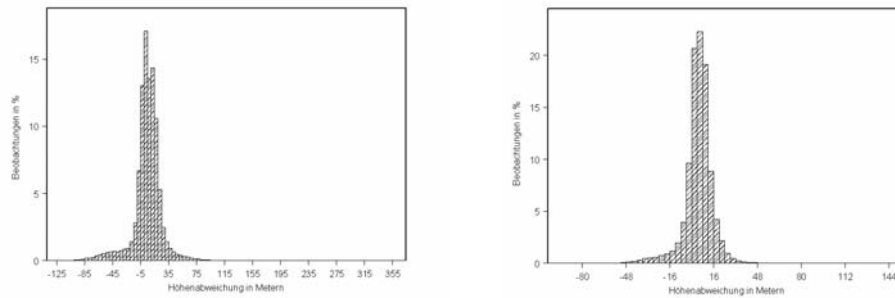


Abb. 2: Verteilung der Höhenabweichung in den Testgebieten Tatra/alt (links) und Tatra/neu (rechts)

Tab. 2 und Abb. 4 dokumentieren das unterschiedliche Verhalten der beiden Modelle hinsichtlich der Realisierung der Neigungsverhältnisse. Bemerkenswert ist dabei in erster Linie, dass das Modell Tatra/neu sich auch in diesem Fall durch ein deutlich kleineres Maximum auszeichnet. Obwohl Lage- und Streuungsparameter ansonsten keine signifikanten Unterschiede aufweisen, kann von einer größeren Güte des Modells Aster/neu ausgegangen werden.

Tab. 2: Deskriptive Kennwerte der Neigungswinkelabweichung zwischen dem Referenzmodell und den Testgebieten

	Tatra/alt	Tatra/neu
Minimum	0,000	0,000
1. Quartil	1,032	1,012
Arith. Mittel	3,893	3,789
Median	2,463	2,409
3. Quartil	5,066	4,954
Maximum	50,450	5,244
Standardabweichung	4,475	4,553

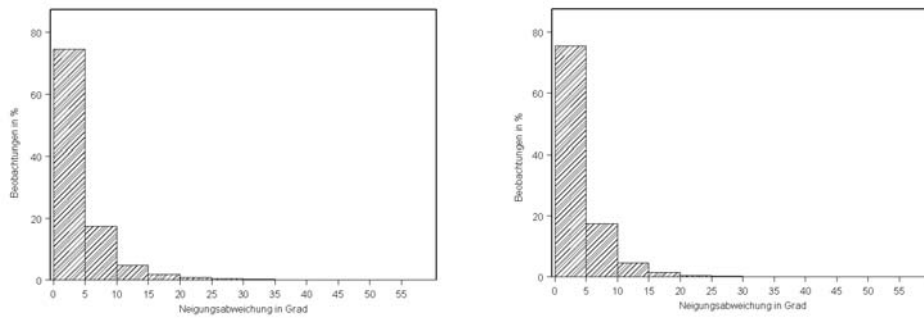


Abb. 3: Verteilung der Neigungsabweichung in den Testgebieten Tatra/alt (links) und Tatra/neu (rechts)

Im Vergleich mit den bisher untersuchten Parametern war durch die Verwendung des Modells Tatra/neu innerhalb des gegebenen Rahmens für die Expositionsveränderung keinerlei nennenswerte Verbesserung zu erzielen. Dies lässt u.a. den Schluss zu, dass sich die bisher nachgewiesenen Qualitätsunterschiede kaum auf die Wiedergabetreue der Expositionsverhältnisse auswirken.

Tab. 3: Deskriptive Kennwerte der Expositionsabweichung zwischen dem Referenzmodell und den Testgebieten

	Tatra/alt	Tatra/neu
Minimum	0,000	0,000
1. Quartil	9,913	8,113
Arith. Mittel	37,541	32,382
Median	23,099	18,935
3. Quartil	49,458	43,415
Maximum	180,000	179,994
Standardabweichung	39,717	35,865

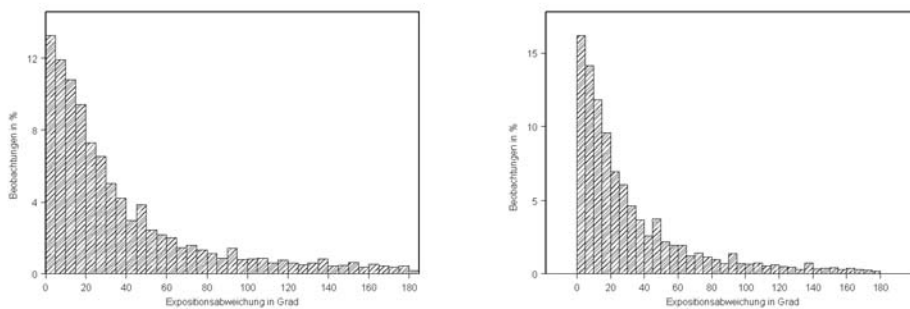


Abb. 4: Verteilung der Expositionsabweichung in den Testgebieten (rechts: Tatra/alt; links: Tatra/neu)

Mit der Berücksichtigung von Plankurvatur und Profilkurvatur wurde das Analyseszenario um weitere Kenngrößen erweitert. Damit wurde versucht, der Bedeutung dieser beiden Parameter für die Terrainanalyse Rechnung zu tragen (WILSON & GALLANT 2000 p.17). Eine Beurteilung der Ergebnisse erweist sich jedoch insofern als problematisch als die Einheiten (rad/100m) nicht nur schwer interpretierbar sind, sondern sich im vorliegenden Fall hinsichtlich ihres Wertespielraums nur geringfügig unterscheiden.

Tab. 4: Deskriptive Kennwerte der Plankurvaturabweichung zwischen dem Referenzmodell und den Testgebieten

	Tatra/alt	Tatra/neu
Minimum	-4,003	-3,368
1. Quartil	-0,133	-0,130
Arith. Mittel	0,000	0,000
Median	0,000	0,000
3. Quartil	0,130	0,142
Maximum	6,218	4,651
Standardabweichung	0,334	0,361

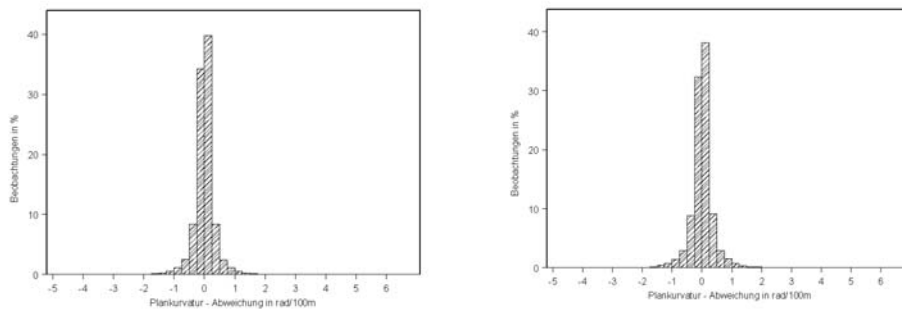


Abb. 5: Verteilung der Plankurvaturabweichung in den Testgebieten (rechts: Tatra/alt; links: Tatra/neu)

Tab. 5: Deskriptive Kennwerte der Profilkurvaturabweichung zwischen dem Referenzmodell und den Testgebieten

	Tatra/alt	Tatra/neu
Minimum	-9,905	-8,673
1. Quartil	-0,160	-0,192
Arith. Mittel	0,000	0,000
Median	0,000	0,000
3. Quartil	0,162	0,191
Maximum	10,577	8,784
Standardabweichung	0,393	0,612

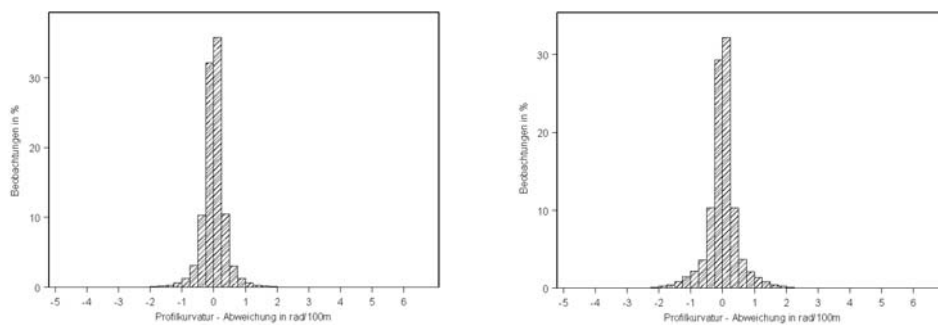


Abb. 6: Verteilung der Profilkurvaturabweichung in den Testgebieten (rechts: Tatra/alt links: Tatra/neu)

Als Schlussfolgerung bleibt weitere Bestätigung des sich abzeichnenden Trends: Das im Rahmen dieser Arbeit generierte Modell Tatra/neu bringt z.T. wesentlich Verbesserungen gegenüber der Relativvariante des ASTER – DEM. Ob allerdings das Ausmaß der Qualitätssteigerung den dafür notwendigen Aufwand lohnt kann nur im Detail entschieden werden.

4 Literatur

- Abrams, M. & S. Hook (2003): *ASTER User Handbook*. Version 2, 2003.
- Bolch, T & Kamp, U. (2003): *Qualitätsanalyse digitaler ASTER-Geländemodelle von Hochgebirgsregionen (Cerro Sillajhuay, Chile/Bolivien)*. Kartographische Nachrichten 5/2003, S. 224-230.
- Buchroithner, M.F. & R. Kostka (1997): *Conceptual considerations on High-Mountain Cartography and Spaceborne Remote Sensing*. In: Proceedings 18th ICA/ACI International Cartographic Conference, Vol. 3, Stockholm 1997, pp. 1597-1603.
- Drexel, P. & J. Gspurning (2004): *ASTER-Höhendaten im Nationalen und internationalen Vergleich*. In: CORP 2004 & Geomultimedia04. M. Schrenk (Hrsg.), 559-568.

- http://corp.mmp.kosnet.com/CORP_CD_2004/archiv/papers/CORP2004_DREXEL_GSPURNING.PDF
- Eckert, S. & T. Kellenberger (2002): *Qualitätsanalyse automatisch generierter digitaler Geländemodelle mit Hilfe von ASTER Daten*. In: Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung, Band 11, E. Seyfert (Hrsg.), S. 337-344.
- ERSDAC (2002): *ASTER User's Guide*. Part III, DEM Product (L4A01). 19 p. http://www.science.aster.ersdac.or.jp/en/documnts/users_guide/part1/pdf/Part3D_1E.pdf
- ERSDAC (2003): *ASTER User's Guide*. Part II, Level 1 Data Products (Ver.4), 61p. http://www.science.aster.ersdac.or.jp/en/documnts/users_guide/pdf.
- GEOSSYSTEMS (2002): Generierung eines digitalen Höhenmodells (DHM) und eines Orthobildes aus ASTER-Daten mit IMAGINE OrthoBASE Pro. http://www.geosystems.de/support/downloads/supportinfos/dhm_generierung/ASTER_DHM_Ortho.pdf.
- Hirano, A. & R. Welch & H. Land (2002): *Mapping from ASTER stereo image data: DEM validation and accuracy assesement*. In: ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 57, pp. 356-370.
- Käab, A. & C. Huggel & F. Paul & R. Wessels & B. Raup & H. Kieffer & J. Kargel (2002): *Glacier Monitoring from ASTER imagery: Accuracy and Applications*. In: Proceedings of EARSeL-LISSIG-Workshop Observing our Cryosphere from Space. Bern, March 11-13.2002, pp. 43-53.
- Kamp, U. & Bolch, T. & Olsenholler, J.(2003): *DEM Generation from ASTER Satellite Data for geomorphometric Analysis of Cerro SillajHuay, Chile/Bolivia*. ASPRS 2003 Conference Proceedings, without page
- Subramanian, K.S.S. & A. Singh & M. Sudhakar (o.J.): *Evaluation of Digital Elevation Models Created from Different Satellite Images*. <http://www.rmsi.com/> (2003/12).
- Toutin, T. & P. Cheng (2001): *DEM Generation with ASTER stereo data*. In. Earth Observation Magazine, 10/6, pp. 10-13.
- USGS (2003): *Map Accuracy Standards*. Fact Sheet FS-171-99, <http://mac.usgs.gov/mac/isb/pubs/factsheets/factsheets/fs17199.html>, 2003
- Wilson, J.P. & Gallant, J.C. (2000): *Terrain Analysis. Principles and Applications*. New York. 479p.