

---

**Off-print aus :**

**Strobl, J., Blaschke, T. , Griesebner, G. [Hrsg.] (2005):  
Angewandte Geoinformatik 2005**

**– Beiträge zum 17. AGIT Symposium Salzburg 2005 -**

**S. 106 - 111**



# Validierung der freien C-Band SRTM Höhendaten in Hinblick auf Anwendungsmöglichkeiten in den Geo- und Umweltwissenschaften

Wolfgang CZEGKA, Stephan BRAUNE und Knut BEHRENDTS

## Zusammenfassung

Freely available 90m- C-Band SRTM Data were validated by comparison with data obtained manually from topographic maps, and with other reference digital elevation models distributed by geodetic authorities of Germany, Austria and Switzerland. Three types of landscape were studied: plains, low mountain ranges, alpine terrain. Results indicate that C-Band SRTM data tiles are generally very high quality products. However, corrections should be applied in places, for instance in zones of dense coniferous forest; or in tiles from the high mountain ranges, which (as a matter of principle) tend to contain a higher portion of void pixels. Aged reference models revealed own flaws during this study.

## 1 Einleitung

Mit den 90 m C-Band Höhendaten der Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) ist für Europa, Asien, Afrika, Australien und Amerika ein einheitlicher, mittelmassstäblicher Satz von Digitalen Höhenmodellen frei verfügbar (<ftp://e0mss21u.ecs.nasa.gov/srtm/>). Ziel vorliegender Arbeit ist es, anhand manuell gewonnener Stichproben ( $n = \text{ca. } 100$ ) eine Validierung der C-Band SRTM Daten im Vergleich zu alternativen Höhenmodellen aufzuzeigen.

Mit dem Instrument ‚Interferometrisches Synthetisches RADAR‘ (InSAR) wurde im Rahmen der Shuttle Radar Topography Mission im Februar 2000 die Landfläche von  $S56^\circ$  bis  $N60,25^\circ$  Breite aufgenommen. Die SRTM-Mission umfasste sowohl das deutsch-italienische X-Band (3 cm Wellenlänge) als auch das US-amerikanische C-Band (5,6cm Wellenlänge). Das X-Band SAR wies nur eine Streifenbreite von 45 km auf, womit die überflogene Landfläche nicht vollständig erfasst werden konnte. Das C- Band hatte dagegen mit dem Scan-SAR-Mode eine Streifenbreite von 225 km. Die höhere vertikale Genauigkeit des X-Bandes, bedingt durch die kürzere Wellenlänge, wird im C-Band durch vollständigere Abdeckung kompensiert.

Die aufgearbeiteten Radaraufnahmen haben Probleme mit stark variabler Morphologie und in Gebieten mit Wasser- und Eisflächen. Layover und Schatten (z.B. von Gebäuden) können auch Fehlerquellen sein, die sich in den Datensätzen als Leerstellen bemerkbar machen. Tabelle 1 zeigt die prozentualen Flächenanteile von Datenlücken (Voids) in den Kacheln der Verbindungslinie Ostsee-Adria entlang des 12. Längengrades. Für diese zehn Kacheln liegt der Median des Anteiles von Leerstellen im Promillebereich (0,14%). Dies entspricht

dem ‚weltweiten‘ Wert von 0,15% (JACOBSEN 2004). Lediglich in Gebieten mit starker anthropogener Prägung oder mit natürlichem Seenreichtum, sowie im alpinen Bereich ist ein höherer Leerstellenanteil zu finden. In den Alpen liegt dieser zwischen 3% bis 7%. In extremen Regionen (z.B. im Gebiet des Mount Everest) fehlen bis zu 9% der Höhen.

**Tab. 1:** Leerstellen in den Kacheln der Verbindungslinie Ostsee-Adria (12E)

Kachel Nxx / E012	Voids [%]	Regionale Zuordnung	Überwiegender Landschaftstyp	
N54	0.01	Seeland – MVP	Ostsee/ Norddt. Flachland	
N53	0.15	Mecklbg.-Vorpommern	Norddt. Tiefebene	1)
N52	0.08	Brandenburg	Norddt. Tiefebene	
N51	0.17	Sachsen-Anhalt- N-Sachsen	Übergangslandschaft	1)
N50	0.07	Sachsen / Egergraben	Mittelgebirge	
N49	0.04	Oberpfalz / Böhmen	Mittelgebirge	
N48	0.13	Niederbayern	Süddt. Molasseebene	1) 2)
N47	3.04	Berchtesgadener Land/ Salzburg	Voralpen / Kalkalpen	2)
N46	7.84	Kärnten/ Venetien-Friaul	Alpenhauptkamm / Friaul. Alpen	2)
N45	3.80	Venetien	südalpine Molasse / Adriat. Meer	2) 3)
Mittelwert:	1.53			
Median	0.14			

1) hoher anthropogener Anteil (Braunkohletagebaue ) oder hoher Anteil natürlicher Seen; 2) Anteil an alpinen Gebirgsformen; 3) Voids im offenen Meer (Wellengang)

Im Gegensatz zu den X-Band-Daten sind die C-Band-Daten derzeit nur mit einer Rasterweite von 3´ verfügbar, also mit etwa 90 m pro Pixel.

Digitale Oberflächenmodelle enthalten oft implizit die Höhe der Vegetation und der Gebäude (vgl. WURM et al. 2004). Das für die SRT-Mission benutzte C-Band RADAR dringt nur unwesentlich in die Vegetationsoberfläche ein. Das so erhaltene Digitale Oberflächenmodell (DOM) muss in Gebieten mit dichter Nadelbaumbewaldung gefiltert werden, um die nicht zum Boden gehörenden Punkte zu korrigieren. In GIS Software ermöglicht dies eine so genannte ‚Vegetationsmaske‘.

## 2 Testgebiete

Für drei verschiedene Landschaftstypen wurden C-Band SRTM Daten von mehreren Örtlichkeiten mit vorhanden kommerziellen mittelmassstäblichen Höhenmodellen verglichen und auf ihre Benutzbarkeit im Bereich Geo- und Umweltwissenschaften validiert. Diese exemplarischen Gebiete sind:

- norddeutsches Flachland: Lappwald (Landes- und kartografische ‚System‘grenze),

- Mittelgebirge/Übergangslandschaft: Leipziger Bucht, Thüringer Wald (starke anthropogene Beeinflussung)
- Hochgebirge: Untersberg bei Salzburg, Albis (Voralpen), Matterhorn (ausgeprägtes Relief).

Als Vergleichs- („Referenz“-) DOM diente für die deutschen Szenen das in der TOP50-Serie der Landesvermessungsämter hinterlegte 50m DHM (Digitales Höhenmodell). Es basiert auf einem bundeseinheitlichen deutschen Höhenmodell. Bei der Vergleichsszene Lappwald konnte zusätzlich direkt auf die Testdaten des Digitalen Geländemodells *DGM50 M745* des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie (BKG; <http://www.ifag.de/>) zurückgegriffen werden. Die Auswahl erfolgte unter der Annahme, dass die Datenqualität in diesem Testdatensatz für das gesamte DGM50 repräsentativ ist. Eine Dokumentation kann unter [http://www.geodatenzentrum.de/docpdf/dgm50\\_m745.pdf](http://www.geodatenzentrum.de/docpdf/dgm50_m745.pdf) bezogen werden. Für das Hochgebirgsszenario konnten die 25-m-Höhenraster (swisstopoDHM25) von den Gebieten Matterhorn und Albis-Türlersee, die das Bundesamt für Landestopografie der Schweiz auf der Internetseite <http://www.swisstopo.ch/> im xyz-Format bereitgestellt hat, sowie DGM50 Daten des Untersberges herangezogen werden.

Die SRTM-Rohdaten wurden wie in CZEGKA & BRAUNE (2005) beschrieben zur Verarbeitung in GIS vorbereitet. Mit Ausnahme des alpinen Hochgebirgsdatensatzes „Untersberg“ wurden für die Stichprobe vorhandene Fehlstellen *nicht* nachbereitet (d.h. durch Interpolation geschlossen).

Die ausgewählten Regionen können wie folgt charakterisiert werden:

Der Datensatz Testszenario Norddeutsches Flachland (Lappwald) repräsentiert die Gegend um Weferdingen im Grenzbereich Niedersachsen / Sachsen-Anhalt. Insofern ist hier der Systemübergang zweier Vermessungsverwaltungen zu sehen. Weiterhin ist die flachwellige Region durch Tagebaue geprägt. In Hinsicht auf die SRTM-Daten ist der im Nordteil der Szene dominierende Anteil an Bruchflächen im saalekaltzeitlichen Weser-Aller Urstromtal bedeutend.

Das Testszenario Mittelgebirge / Übergangslandschaft ist in der Leipziger Bucht durch eine starke anthropogene Beeinflussung (Tagebaue, Hochbau und Seelandschaft) geprägt. Der Bereich Thüringer Wald repräsentiert ein „typisches“ Mittelgebirge mit hohem Mischwaldanteil. Die SRTM-Daten sollten Tagebaue und Seen ohne Qualitätsverlust wiedergeben. Der systembedingte Fehler durch die Waldbedeckung sollte möglichst gering sein.

Im Testszenario Alpen/Hochgebirge befindet sich wie erwartet ein hoher Anteil an Fehlstellen.

### **3 Methoden**

In jeder SRTM-Kachel wurde per Zufallsgenerator eine Stichprobe von  $n = 100$  Punkten pro Vergleichsregion ausgewählt. Zu diesen Punkten wurden jeweils die Höhen aus dem

SRTM-3 DOM und dem Vergleichs-DHM bestimmt. Zusätzlich wurden aus der in der TOP50 enthaltenen Topographischen Karte in jeder Kachel manuell 30 ausgewiesene ‚Höhenfestpunkte‘ (trigonometrischer Bodenpunkt, Nivellementspond mit Höhenangabe) ausgewählt und zu diesen Punkten die geographischen Koordinaten und die angegebene Höhe (absolute Höhe über NN) bestimmt. Zu diesen Punkten wurden zusätzlich die Höhenangaben aus dem SRTM DOM und dem Vergleichs DHM bestimmt. In den Regionen Lappwald und alpiner Bereich (Albis, Untersberg) wurden zusätzlich Differenz-Grids berechnet. Zum Qualitätsvergleich dienten die 50-m-Höhenraster von den Gebieten Matterhorn und Albis-Türlersee vom Bundesamt für Landestopografie der Schweiz.

## 4 Ergebnisse

Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 dargestellt.

**Tab. 2:** Übersichtstabelle mit Kenngrößen der SRTM-Daten relativ zu Vergleichs-DHMs

Landschaftstyp	Mittlere Absolute Abweichung [m]	Std.-Abw. [m]	Pearson-Korr.-Koeff. $R^2$	Bemerkung/ Vergleich v. DHMs
Norddt. Tiefland / Lappwald	1,3	0,9	0,968	SRTM - BKG 1) 2)
Norddt. Tiefland / Lappwald	1,6	1,7	0,986	SRTM - TOP50
Norddt. Tiefland / Lappwald	2,3	2,9	0,962	BKG – TOP50
Übergangslandschaft / Leipziger Bucht (ohne Tagebau)	0,3	3,6	0,999	SRTM-BKG 3)
Übergangslandschaft Lpz. Bucht (mit Tagebau)	1,6	2,3	0,967	SRTM-BKG
Mittelgebirge / Thüringer Wald	6,2	7,9	0,999	SRTM-BKG
Mittelgebirge / Thüringer Wald	0,2	4,4		SRTM-TOP50 $\tan(\alpha) = 0,14$ 4)
Alpen / Albis- Türlersee	3,8	1,0	0,988	SRTM- DHM25 $\tan(\alpha) = 0,2$
Alpen / Matterhorn	13,1	3,7	0,987	SRTM- DHM25 $\tan(\alpha) = 0,3$ 5)
Alpen / Salzburg, Untersberg	5,6	3,4	0,995	SRTM-TOP50 6)

- 1) Besonderheiten BKG Modell: Tagebau-Sohlen Stand ca. 1990. N-S verlaufender linearer Artefakt 2) Höhere Std.-Abweichung in Gebieten mit Nadelbaumbewaldung. 3) Hydrologie: hohe geometrische Genauigkeit der Reliefpräsentation des SRTM DOM beim Vergleich von Entwässerungsnetzen 4)  $\alpha$  = mittlerer Geländeneigungswinkel (begrenzt theor. mögliche Genauigkeit) 5) Leerstellen <1,2%. Nur 40% der Landfläche von *beiden* DHMs erfasst 6) Leerstellen, vor allem an der N-NE Kante des Untersberges, durch Interpolation geschlossen (CZEGKA & BRAUNE, 2005)

Als Anwendungsszenario wurde von den Testszenen Flachland (Lappwald) und Übergangslandschaft (Leipziger Bucht) wurden Hangneigung, Abflussrichtung, Einzugsgebietsgrenzen, Fließakkumulation und Entwässerungsnetz als Primäre

Reliefparameter aus dem SRTM DOM und den Vergleichs-DHM berechnet. Diese wurden dann mit dem tatsächlichen Entwässerungsnetz verglichen. In einem zusätzlichen Schritt wurde das SRTM Dom durch eine Vegetationsmaske (Wald/Bebaute Fläche) korrigiert. Der Vergleich der abgeleiteten Entwässerungsnetze mit den ‚tatsächlichen‘ zeigt, dass die geometrische Genauigkeit der Reliefpräsentation des SRTM DOM hinreichend hoch ist. Es liessen sich nur unwesentliche Verbesserungen durch eine Korrektur der SRTM DOM Daten mit den Vegetationsmasken (entweder aus Corine oder abgeleitet aus einer aktuellen ETM+ Szene) erreichen.

## 5 Diskussion

Bezüglich der Genauigkeit der SRTM-Daten liegen zumindest im deutschen Sprachraum vorwiegend Arbeiten über das X-Band Höhenmodell der DLR vor (vgl. Übersichtsarbeit von MOLL, 2003). Zu einer generellen Diskussion der Qualitätsmerkmale eines Digitalen Geländemodells, wie z.B. Positionsgenauigkeit und logische Konsistenz, siehe KRESS & FADAIE (2004).

Häufig wird die Qualität eines DOM durch Vergleich mit einem anderen ermittelt. Das Referenz-DOM sollte eine Qualitätsklasse besser als das zu vergleichende DOM sein. Diese Voraussetzung ist in dieser Arbeit nur teilweise erfüllt, da einige verwendete Referenzmodelle schon aufgrund ihres Alters ungenau sein mussten: In der Leipziger Bucht z.B. sind seit Erfassung des Referenz-DGM zahlreiche Tagebaue vertieft oder umgestaltet worden. Das im Szenario ‚Flachland‘ verwendete DGM des BKG scheint darüber hinaus eigene Typen von Artefakten zu enthalten (die möglicherweise bei der Dateneingabe entstanden sind).

Die hier verwendete Methode des Vergleichs von 30-100 Punkten per Zufallsauswahl ergibt nicht die Datenfülle wie eine numerisch-mathematische Anpassungsmethode die z.B. KOCH et al. (2002) für X-Band Daten angewandt haben, da die Stichprobe kleiner ist als bei einem Vergleich aller einzelnen Pixel der Höhenmodelle. Dafür ist die in dieser Publikation angewandte Stichprobenmethode flexibler einsetzbar und kann mit wenigen Vergleichsdaten durchgeführt werden. Dies kann vor allem in Regionen, in denen kein gleichwertiges bzw. genaueres DHM vorliegt, als Vorteil gesehen werden.

Im Flachland beträgt die vertikale Standardabweichung im offenen Gelände  $\pm 3\text{m}$ . In Mischwaldgebieten kann der Unterschied DOM-DHM mit Vegetationsmasken relativ leicht korrigiert werden; im alpinen Bereich ist zwingend eine über eine reine Interpolation hinausgehende Nachbearbeitung der Daten notwendig. Das von JARVIS et al. (2004) für tiefere Breiten beschriebene Phänomen, dass NE exponierte Hanglagen besonders hohe Fehler enthalten, konnte bei den hier untersuchten SRTM Daten nur im alpinen Bereich beobachtet werden. Ein weiteres Problem bei der Arbeit mit SRTM Daten ist die Bestimmung von Küstenlinien und Seeuferlinien. Diese Probleme können durch Verschneidung mit anderen Daten gelöst werden.

Die vorgenommenen Vergleiche bestätigen den SRTM-3 Daten eine gute, mit kommerziellen Produkten der Landesvermessungsämter vergleichbare Qualität. Das TestszENARIO Flachland zeigte sogar, dass das SRTM DOM weniger Artefakte enthielt und aktueller ist.

## 6 Danksagungen

Die Autoren bedanken sich bei M. Dreesmann von der Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg und bei Dr. A. Serbatschenko und U. Meyer vom GeoForschungsZentrum Potsdam für die technische Unterstützung.

## 7 Literatur

- Czegka, W. & S. Braune (2005): *SRTM-90m Höhendaten und ihre Verwendbarkeit in GeoInformationssystemen in Hinblick auf Anwendungsmöglichkeiten in den Geo- und Umweltwissenschaften*. Z. Geol Wiss. (in Druck)
- Jacobsen, K. (2004): *Generierung und Validierung von Höhenmodellen aus Weltrauminformationen*. In Seyfert, E. [Hrsg.]: Vorträge 24. Technisch-Wissenschaftliche Jahrestagung der DGPF Halle/S., S.475-482.
- Jarvis, A., J. Rubiano, J. Nelson, A. Farrow & M. Mulligan (2004): *Practical use of SRTM data in the tropics – Comparisons with digital elevation models generated from cartographic data* <http://srtm.csi.cgiar.org/PDF/Jarvis4.pdf> (Date accessed: [20.03.2005]).
- Koch, A., C. Heipke, & P. Lohmann (2002): *Bewertung von SRTM Digitalen Geländemodellen- Methodik und Ergebnisse*. Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation 6, S. 369-398
- Kresse, W., & K. Fadaie (2004): *ISO Standards for Geographic Information*. Springer, Heidelberg, Berlin, S. 101.
- Moll, A. (2003): *Validierung verschiedener Geländemodelle der SRT Mission (SRTM) am Beispiel des Bonner Raumes*. Diplomarbeit, Universität Bonn. <http://www.rsg.uni-bonn.de/rsrgwww/English/Diplomarbeiten/Diplomarbeiten.html> (Date accessed: [20.03.2005]),
- Wurm, M. (2004): *Ableitung eines DHM aus zwei sich überlappenden Landsat-ETM+-Szenen*. In: Strobl, J., T. Blaschke, G. Griesebner [Hrsg.] (2004): *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XVI – Beiträge zum AGIT Symposium Salzburg 2004*, S. 804 - 813.