

Vergleich von ASTER GDEM- mit SRTM-Höhenmodellen

KARSTEN JACOBSEN

Zusammenfassung: Mit den auf interferometrischem Radar basierenden SRTM-Höhenmodellen sind seit mehreren Jahren Höheninformationen von 56° südlicher bis 60,25° nördlicher Breite kostenlos verfügbar. Aus den Stereoaufnahmen des ASTER-Satellit wurden für den Bereich von 83° südlicher bis 83° nördlicher Breite Höhenmodelle durch automatische Bildzuordnung erstellt und ebenfalls kostenlos zur Verfügung gestellt. Die SRTM-Höhenmodelle haben einen Punktabstand von 3“, entsprechend ungefähr 92m am Äquator, wogegen die ASTER-Daten einen Punktabstand von 1“ aufweisen.

In insgesamt 12 Testgebieten wurden die beiden Höhenmodelle hinsichtlich ihrer Genauigkeitsstruktur und morphologischen Information miteinander verglichen. Es zeigte sich bei beiden Höhenmodellen, neben der Abhängigkeit von der Geländeneigung und der Bodenbedeckung, eine nicht immer homogene Genauigkeit. Die ASTER-Höhenmodelle basieren auf einer teilweise großen Zahl von überlappenden Stereomodellen. Meistens, aber nicht in jedem Fall, ist eine Genauigkeitsabhängigkeit von der Anzahl der überlappenden Stereomodelle vorhanden, die aber unter den Erwartungen der Statistik liegt. Durch die Mittelbildung vieler Höhenmodelle leiden die morphologischen Details, so dass trotz der linear dreifachen Punktdichte gegenüber den SRTM-Höhenmodellen kaum mehr morphologische Details erkennbar sind. Im Durchschnitt ist die Genauigkeit der SRTM-Höhenmodelle besser als die der ASTER-Daten. Allerdings haben die ASTER-Höhenmodelle in gebirgigen Gebieten Vorteile gegenüber den SRTM-Daten; es treten keine vergleichbaren radar-typischen Datenlücken auf. Ähnlich ist es mit trockenen Sandwüsten, die teilweise das Radarsignal nicht reflektieren.

1 Einleitung

Digitale Höhenmodelle sind von grundlegender Bedeutung für photogrammetrische und Geoinformations-Anwendungen. Mit den kostenlosen Höhenmodellen der Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) ist bereits seit Anfang 2002 eine nahezu weltweite Höheninformation verfügbar. Die auf interferometrischem synthetischen Apertur Radar (InSAR) beruhenden Daten weisen allerdings in stark geneigtem Gelände wegen des Radar-Overlay Lücken auf, wie auch in trockenen Sandwüsten und auf glatten Wasserflächen. Die Wasserflächen stellen kein Problem dar, da die Höhen von den umgebenden Gebieten interpoliert werden können. Die Lücken wurden in der Zwischenzeit mit anderen Höheninformationen aufgefüllt, was aber den Nachteil einer inhomogenen Genauigkeit hat. Die stärkste Einschränkung der SRTM-Höhenmodelle ist aber der Punktabstand der frei verfügbaren Daten von 3“, entsprechend etwa 93m am Äquator. Nur in den USA sind die SRTM-Daten mit einem Punktabstand von 1“, entsprechend etwa 31m am Äquator, im Internet zugänglich. Das auf der automatischen Bildzuordnung von Stereobilder des ASTER-Sensors beruhende ASTER GDEM erweitert die Höhenmodelle auf den Bereich von 83° südlicher bis 83° nördlicher Breite, außerdem weist das ASTER GDEM keine Lücken wie die SRTM-Daten auf und hat einen

Karsten Jacobsen, Institut für Photogrammetrie und Geoinformation, Leibniz Universität Hannover, Nienburger Str. 1, 30167 Hannover, jacobsen@ipi.uni-hannover.de

Punktabstand von 1“. Mit dem ASTER Global DEM Validation, Summary Report (siehe Literaturverzeichnis) liegt bereits eine intensive Untersuchung des ASTER GDEM vor. Die Abhängigkeit der Punktgenauigkeit von der Anzahl der individuell verwendeten Stereomodelle ist jedoch nur unzureichend untersucht, wie auch die morphologischen Details und auch die Abhängigkeit der Höhengenaugigkeit von der Geländeneigung. Zudem ist der direkte Vergleich des ASTER GDEM mit den SRTM-Höhenmodellen unzureichend.

2 Untersuchungsgebiete

Für eine Untersuchung von Höhenmodellen sollten Referenzhöhenmodelle benutzt werden, da nur mit ihnen die erforderlichen Details erzielbar sind. Eine Untersuchung mittels einzelner Vergleichspunkte führt in der Regel zu zu optimistischen Genauigkeitsangaben da Vergleichspunkte in der Regel auf ebenen Flächen mit gutem Kontrast liegen. Ein direkter Vergleich mit einem Referenzhöhenmodell kann dagegen zu pessimistisch ausfallen, wenn der Punktabstand des Referenzmodells so groß ist, dass Interpolationen zu nicht vernachlässigbaren Fehlern führen, wie es teilweise in dem extrem rauen Testgebiet Zonguldak der Fall ist.

Die ASTER GDEM- und die SRTM-Daten wurden mit Referenzhöhenmodellen in Jordanien, Istanbul - Türkei, Zonguldak – Türkei, Mousanne – Frankreich, Polen nahe Warschau, Gars – Bayern, Inzell – Bayern, West Virginia – USA, Pennsylvania – USA, Philadelphia – USA, Arizona – USA und Atlantic County – USA verglichen. Die Testgebiete gehen von flachen über hügelige zu gebirgigen Gebieten, die teilweise von Wald und mit Gebäuden bedeckt sind. Die meisten Testgebiete wurden bereits für vorangegangene Untersuchungen der SRTM-Höhenmodelle herangezogen (Passini, Jacobsen 2007).

3 Vorbereitung der Daten

Projekt	Atlantic County	Pennsilvania	West Virginia	Mausanne	Jordan	<i>Quadratmittel</i>
ASTER DX	-2.11m	7.82m	7.28m	6.14m	-2.98m	5.75m
ASTER DY	-8.71m	3.01m	11.60m	5.41m	9.89m	8.33m
SRTM DX	-3.46m	5.56m	4.58m	-1.31m	0.28m	3.62m
SRTM DY	-2.46m	0.20m	-2.27m	1.03m	0.14m	1.57m

Tab. 1: Datumsfehler des ASTERGDEM und des SRTM DSMs

Es muss davon ausgegangen werden, dass die Höhenmodelle nicht nur Höhen- sondern auch Lageabweichungen haben. Die Lageabweichungen beschränken sich in der Regel auf Datumsfehler, somit konstante Verschiebungen in X und Y. Datumsfehler werden durch die Bildorientierung, aber auch durch die Koordinatenbezugssysteme hervorgerufen. Aus diesem Grund wurden alle untersuchten Höhenmodelle auf die Referenzhöhenmodelle durch Ausgleichung verschoben. Für die Datensätze ohne Probleme mit dem Koordinatenbezugssystem sind die Datumsfehler für die ASTER- und der SRTM-Daten in Tabelle 1 dargestellt. Sie liegen für ASTER GDEM in der Größenordnung von 6m – 8m und sind damit etwas größer als für die SRTM-Daten, die eine Größenordnung von etwa 3m aufweisen.

4 Abhängigkeit des ASTER GDEM von der Anzahl der verwendeten Bilder

Die Anzahl der für den einzelnen Objektpunkt benutzten ASTER-Stereomodelle variiert stark von Gebiet zu Gebiet, aber auch von Punkt zu Punkt innerhalb eines Datensatzes von $1^\circ \times 1^\circ$ (siehe Abb 1).

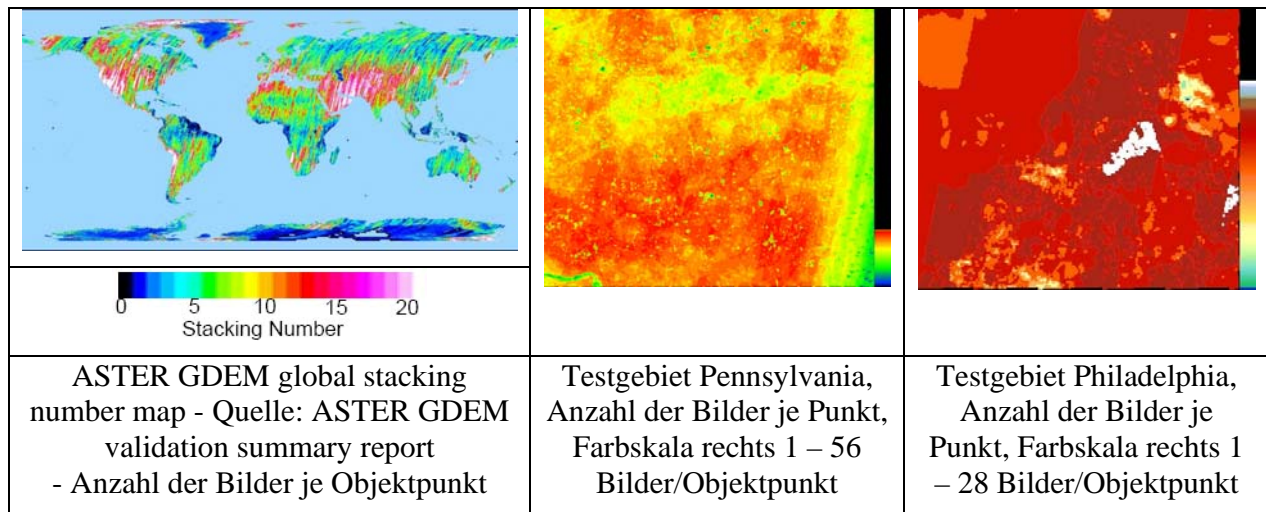


Abb. 1: Anzahl der Bilder (stacks) je Objektpunkt

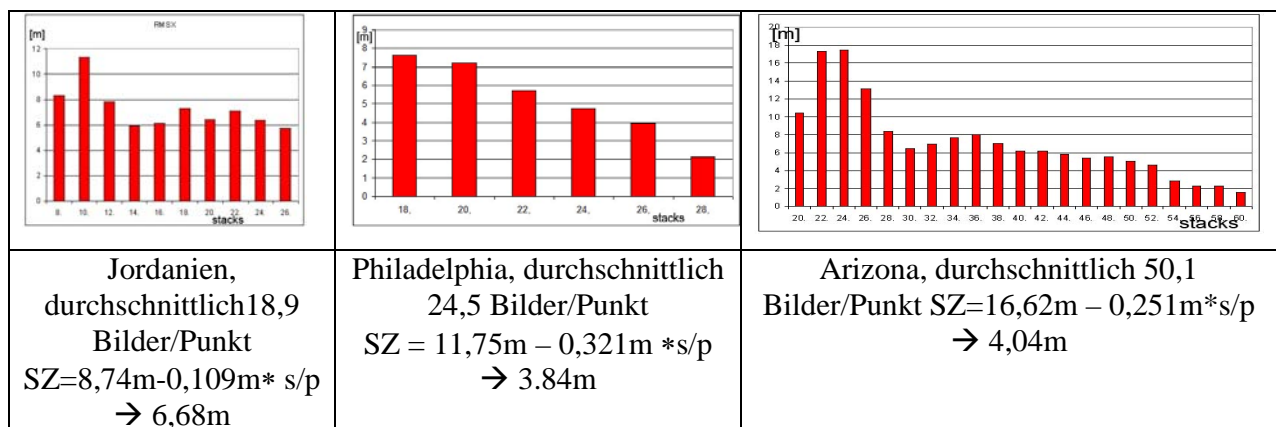


Abb. 2: Quadratmittel der Widersprüche ASTER GDEM gegen Referenzhöhenmodell in Abhängigkeit con der Anzahl der Bilder / Objektpunkt

In den Testgebieten wurden bis zu 60 Bilder je Objektpunkt benutzt. In dem Hannoverschen Programm DEMANAL kann zusätzlich zu den Höhendaten die Datei mit der Anzahl der Bilder je Punkt eingelesen und die Quadratmittel der Widersprüche zwischen dem zu untersuchenden Höhenmodell und den Referenzdaten als Funktion der Bilder je Punkt berechnet werden (Abb. 2). Außerdem wird die ausgleichende Funktion der Genauigkeit als Funktion der Bilder/Punkt berechnet (Abb. 3). Als Quadratmittel aller Testgebiete ergab sich die Funktion $SZ = 12,43m - 0,35m \cdot \text{Bilder/Punkt}$, das mit den durchschnittlich 18,7 Bildern/Punkt, auf die Genauigkeit von $SZ=5,88m$ führt.

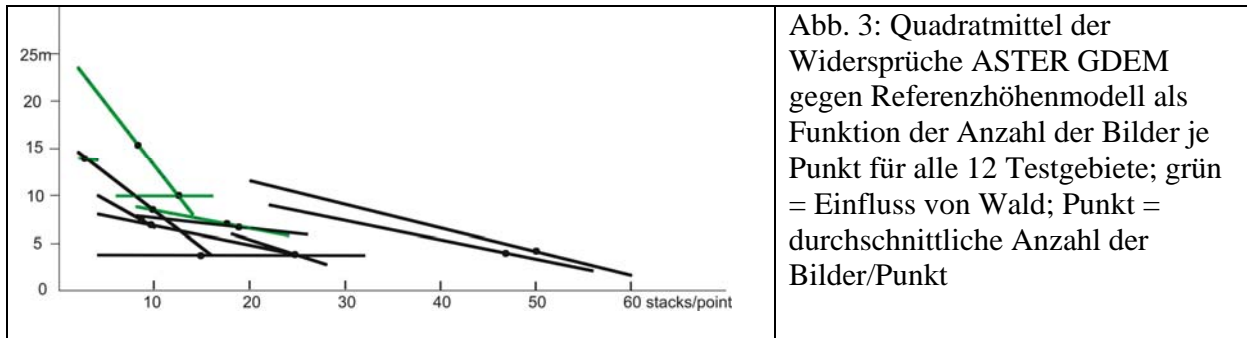
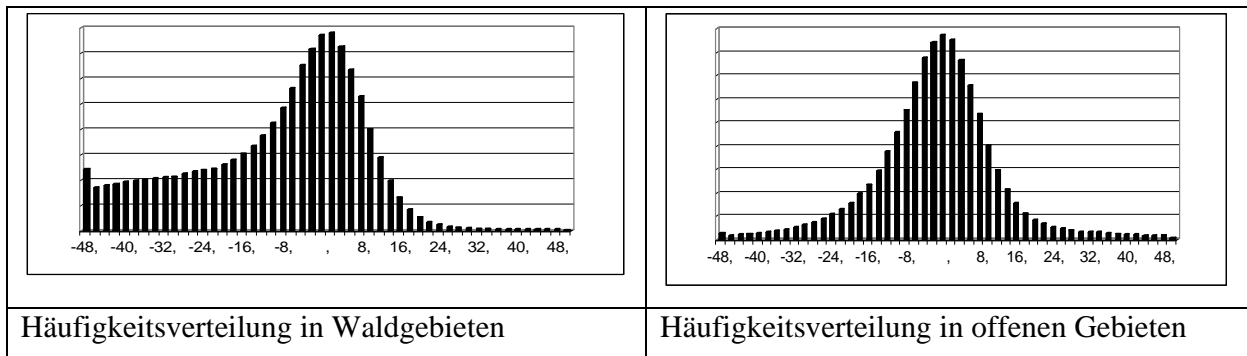


Abb. 3: Quadratmittel der Widersprüche ASTER GDEM gegen Referenzhöhenmodell als Funktion der Anzahl der Bilder je Punkt für alle 12 Testgebiete; grün = Einfluss von Wald; Punkt = durchschnittliche Anzahl der Bilder/Punkt

5 Genauigkeitsuntersuchung

ASTER GDEM und SRTM C-Band-Höhenmodelle beschreiben die sichtbare Oberfläche, also die Oberfläche der Vegetation und der Gebäude. Im Gegensatz zu den digitalen Oberflächenmodellen (DOM) enthalten die Referenzhöhenmodelle die Höhe der Erdoberfläche, sind somit digitale Geländehöhenmodelle (DGM). In offenen Gebieten kann der Einfluss der Gebäude und einzelner Bäume oder Baumgruppen durch Filterung entfernt werden, während in Waldgebieten eine Filterung wenig Vorteile bringt, da sowohl ASTER GDEM, wie auch die SRTM-DOM in Waldgebieten keine Bodenpunkte enthalten. Eine Trennung der Untersuchungsgebiete in offene Flächen und Wald ist deswegen sinnvoll. Der Einfluss des Waldes auf die Höhenabweichungen wird durch die Häufigkeitsverteilung in Abb. 3 klar gezeigt.



Häufigkeitsverteilung in Waldgebieten

Häufigkeitsverteilung in offenen Gebieten

Abb. 3: Testgebiet Pennsylvania: Häufigkeitsverteilung der Höhenunterschiede ASTER GDEM gegen Referenzhöhenmodell – horizontal: Größe der Widersprüche [feet]

	QM	Bias	SZ	SZ		QM	Bias	SZ	SZ	
G	10.42	7.64	7.08	$6.25 + 1.78 \cdot \tan \alpha$		13.31	-3.52	12.84	$7.88 + 17.6 \cdot \tan \alpha$	
O	10.90	9.12	5.98	$5.60 + 0.05 \cdot \tan \alpha$		8.70	3.37	8.02	$5.33 + 22.2 \cdot \tan \alpha$	
W	8.18	1.53	8.03	$7.32 + 0.2 \cdot \tan \alpha$		14.98	-6.76	13.36	$7.98 + 16.7 \cdot \tan \alpha$	
Testgebiet Gars						Testgebiet Inzell				

Tab. 2: Untersuchung von ASTER GDEM in den Testgebieten Gars [m] (QM = Quadratmittel der Widersprüche, G = Gesamtgebiet, O = offenes Gebiet, W = Wald, α = Geländeneigung)

Wie fast alle Höhenmodelle zeigen ASTER GDEM und SRTM DOM eine klare Abhängigkeit der Genauigkeit von der Geländeneigung. Die Standardabweichung der Höhe (SZ) ist deswegen mit der Formel $SZ = A + B * \tan(\text{Geländeneigung})$ zu beschreiben, wie auch aus der separaten Genauigkeitsanalyse für die offenen und Waldgebiete (Tab. 2) hervorgeht.

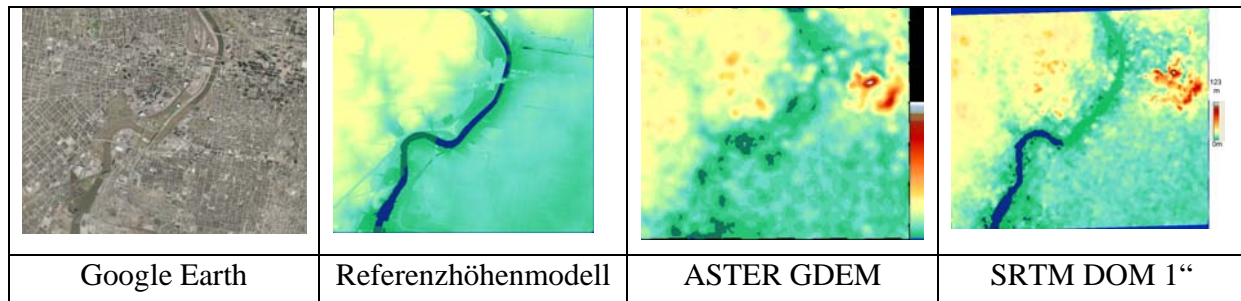


Abb. 4: Einfluss der Bebauung auf ASTER GDEM und SRTM DOM, Testgebiet Philadelphia

Eine dichte Bebauung hat einen ähnlichen Einfluss auf ASTER GDEM und SRTM DOM, wie Abb. 4 anhand des Innenstadtbereichs von Philadelphia zeigt. Im oberen rechten Teil befindet sich eine Gruppe von Hochhäusern die Höhenabweichungen gegenüber dem Referenzhöhenmodell von bis zu 30m hervorrufen. Auch im oberen mittleren Teil kommt es zu größeren Einflüssen der Bebauung auf die Höhenmodelle.

	QM	Bias	SZ	SZ		QM	Bias	SZ	SZ
Jordan	13.62	11.92	6.59	$5.03 + 2.4 * \tan \alpha$		5.10	0.28	5.09	$4.05 + 1.8 * \tan \alpha$
W. Virginia	14.04	2.66	13.78	$12.79 + 1.6 * \tan \alpha$		12.05	8.30	8.73	$8.53 + 0.02 * \tan \alpha$
Atlantic C.	5.15	3.36	3.90	$3.90 + 0.0 * \tan \alpha$		2.85	0.08	2.85	$2.85 + 0.0 * \tan \alpha$
Pennsylvania	9.32	8.30	4.25	$3.63 + 23.2 * \tan \alpha$		4.58	1.89	4.18	$3.48 + 22.5 * \tan \alpha$
Philadelphia	7.07	5.33	4.65	$4.65 + 0.0 * \tan \alpha$		5.85	3.60	4.61	$4.61 + 0.0 * \tan \alpha$
Arizona	5.82	3.32	4.78	$2.92 + 17.4 * \tan \alpha$		3.70	1.32	3.46	$2.34 + 11.1 * \tan \alpha$
Mausanne	7.06	2.45	6.62	$4.83 + 9.8 * \tan \alpha$		3.86	0.86	3.76	$1.68 + 12.4 * \tan \alpha$
Poland	14.08	9.99	9.93	$9.61 + 1.7 * \tan \alpha$		5.15	2.05	4.73	$5.15 + 0.0 * \tan \alpha$
Zonguldak	9.26	1.79	9.08	$6.63 + 11.7 * \tan \alpha$		9.33	3.38	8.70	$7.17 + 10.1 * \tan \alpha$
Istanbul	7.20	1.44	7.06	$6.04 + 3.6 * \tan \alpha$		4.95	1.30	4.77	$3.37 + 6.2 * \tan \alpha$
Gars	10.42	7.64	7.08	$6.25 + 1.8 * \tan \alpha$		5.44	2.33	4.92	$3.95 + 2.3 * \tan \alpha$
Inzell	13.31	3.52	12.84	$7.88 + 17.6 * \tan \alpha$		8.02	2.38	7.66	$4.38 + 25.4 * \tan \alpha$
Quadrat- mittel	10.21	6.13	8.17	$6.74 \text{ for } \alpha = 0.0$		6.62	3.12	5.61	$5.08 \text{ for } \alpha = 0.0$
	ASTER GDEM					SRTM DOM (3'')			

Tab. 3: Ergebnisse der Untersuchung des ASTER GDEM und der SRTM DOM in 12 Testgebieten – Widersprüche gegen die Referenzhöhenmodelle [m], Bias ohne Vorzeichen

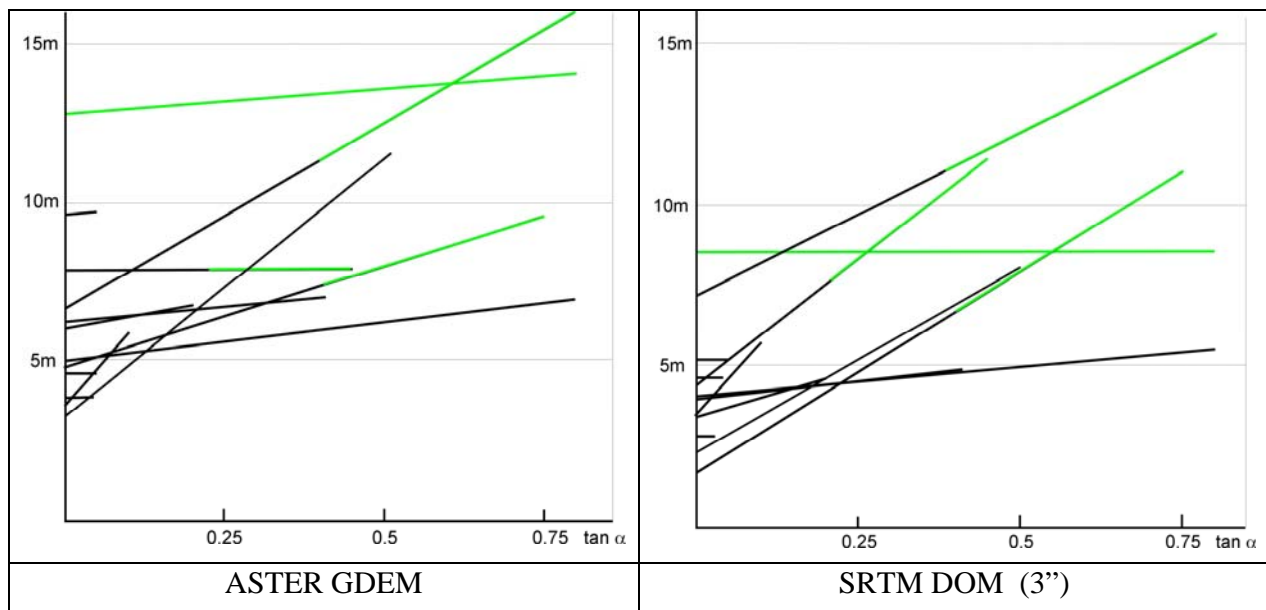


Abb. 4: Genauigkeit der Höhenmodelle in Abhängigkeit von der Geländeneigung, grün = Einfluss von Waldgebieten

Wie aus Abbildung 4 und Tabelle 3 ersichtlich, gibt es eine stärkere Streuung der Genauigkeit der untersuchten Höhenmodelle. Die Abhängigkeit von der Geländeneigung ist bei dem ASTER GDEM und den SRTM C-Band-Höhenmodellen sehr ähnlich. Allerdings sind sowohl die Standardabweichung, als auch die systematischen Fehler (Bias) für die SRTM-Daten kleiner als für die ASTER-Daten. Als Quadratmittel der Widersprüche für horizontale Flächen gegenüber den Referenzhöhenmodellen ergibt sich für das ASTER-GDEM aus den 12 Testgebieten ein Wert von 6,74m und für die SRTM-C-Band-Daten 5,85m. Wenn der Einfluss der Waldgebiete herausgenommen wird, liegt das Quadratmittel der Widersprüche nach Berücksichtigung des Bias für ASTER-GDEM in der Größenordnung von 5m, während es für die SRTM-Daten bei 3m bis 4m liegt.

6 Morphologische Details

Nicht nur die absolute Genauigkeit ist von Bedeutung, sondern auch die morphologischen Details, die auch als relative Genauigkeit bezeichnet werden können. Die Spezifizierung der morphologischen Details ist komplex und kann am besten durch visuelle Betrachtung von Höhenlinien, die aus den Höhenmodellen abgeleitet wurden, erfolgen. Prinzipiell werden die morphologischen Details durch die Rasterweite des Höhenmodells und die relative Genauigkeit – Genauigkeit eines Punktes in Relation zum Nachbarpunkt – bestimmt. Ein Bias wirkt sich nicht auf die morphologischen Details aus. In den USA sind die SRTM C-Band-Höhenmodelle sowohl mit einer Rasterweite von 3“ (~90m am Äquator) als auch mit 1“ frei im Internet verfügbar. Ein direkter Vergleich von Höhenlinien, erzeugt aus dem ASTER GDEM und SRTM C-Band-Daten, die beide eine Rasterweite von 1“ aufwiesen, zeigte deutlich weniger Details in dem ASTER GDEM als im SRTM 1“-Höhenmodell (Abb. 5), umgekehrt sind mehr Details als mit dem SRTM 3“-Höhenmodell sichtbar.

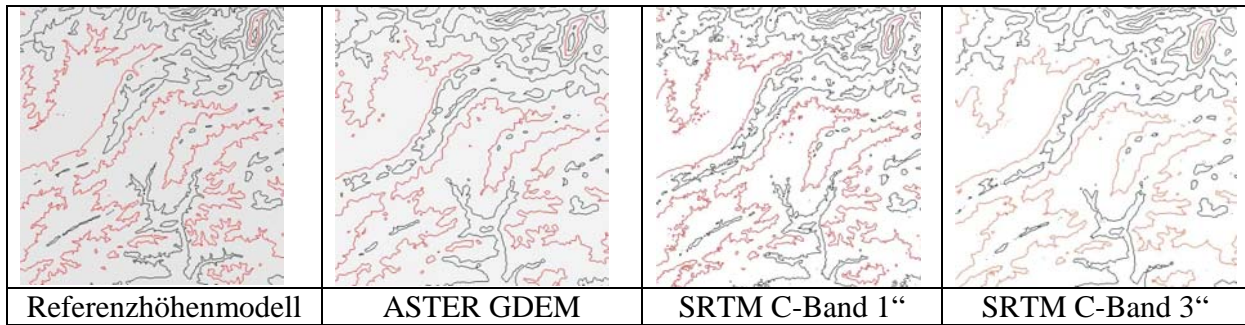


Abb. 5: Höhenlinien Testgebiet Pennsylvania, 1000 ft Höhenlinienintervall

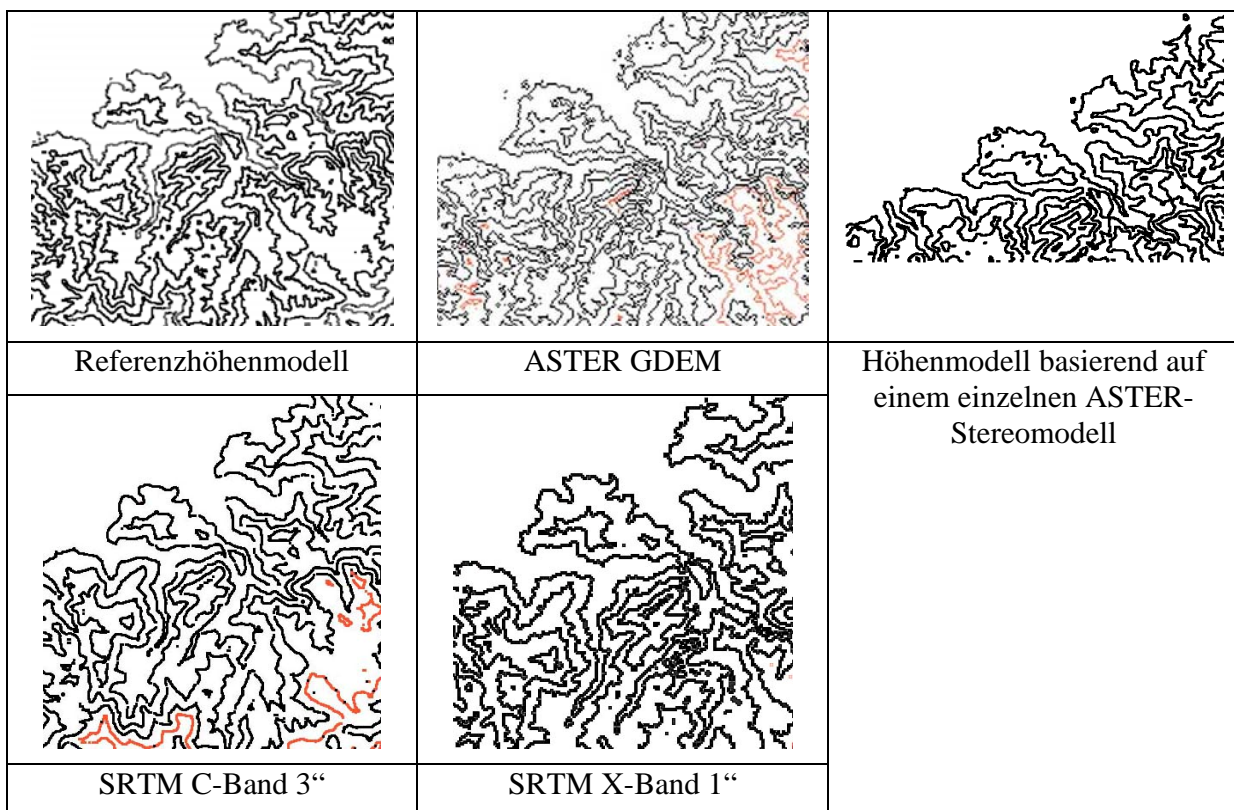


Abb. 6: Höhenlinien Testgebiet Zonguldak, 50m Höhenlinienintervall

Wie in den gezeigten Testgebieten Pennsylvania und Zonguldak liegen auch in den anderen Testgebieten die morphologischen Details des ASTER GDEM zwischen SRTM-Daten mit 1'' und SRTM-Daten mit 3'' Rasterweite. In dem ASTER Global DEM Validation, Summary Report 2009 (siehe Literaturverzeichnis) wird von einer Schärfe entsprechend 50m gesprochen. Die eigenen Untersuchungen des ASTER GDEM entsprechen den morphologischen Details, die mit einer Rasterweite von etwa 60m darstellbar sind und stimmen damit mit dem Validation Report gut überein.

7 Zusammenfassung, Schlussfolgerungen

Wie die meisten Höhenmodelle muss auch das ASTER GDEM auf das Koordinatenbezugssystem eingepasst werden. Verschiebungen von 6m in der Lage und der Höhe sind üblich. Damit sind die Lageverschiebungen etwas größer als für die SRTM-Höhenmodelle. Die Höhenverschiebungen können allerdings mit wenigen Referenzhöhen bestimmt werden, während die Lageverschiebungen sich aus der Überlagerung mit einer digitalen Karte ermitteln lassen. ASTER GDEM und SRTM-Höhenmodelle sind digitale Oberflächenmodelle, die in offenen Gebieten durch Filterung verbessert werden können. Der Höheneinfluss von Gebäuden und Wald ist zu berücksichtigen.

Es zeigt sich in der Regel eine Genauigkeitsabhängigkeit des ASTER GDEM von der Anzahl der Bilder, die für die Bestimmung eines Objektpunktes herangezogen wurden. Im Durchschnitt kann die Standardabweichung mit der Beziehung $SZ = 12,43m - 0,35m \cdot (\text{Anzahl der Bilder/Punkt})$ ausgedrückt werden, wobei dieses auf durchschnittlich 18,7 Bilder/Punkt basiert, was im Mittel auf $SZ=5,88m$ führt. Unabhängig von der Anzahl der Bilder je Punkt, kann die Standardabweichung auch durch $SZ = 6,74m + 7,6m \cdot \tan(\text{Geländeneigung})$ ausgedrückt werden, was aber durch Waldgebiete teilweise beeinflusst ist. Aus den gleichen Testgebieten ergibt sich für die SRTM-Höhenmodelle ein Wert von $SZ = 5,85m + 7,6m \cdot \tan(\text{Geländeneigung})$. Wird der Einfluss der Waldgebiete herausgerechnet, liegt die Standardabweichung des ASTER GDEM für ebene Gebiete bei etwa 5m, während sich für die SRTM Höhenmodelle ein Wert von 3 bis 4m ergibt.

Die morphologischen Details des ASTER GDEM, das eine Rasterweite von etwa 30m hat, entspricht etwa einem Höhenmodell mit einer Rasterweite von etwa 60m, während bei den SRTM-Höhenmodellen die morphologischen Details der tatsächlichen Rasterweite von etwa 90m entspricht.

Gegenüber den SRTM-Höhenmodellen hat das ASTER GDEM in Gebirgen Vorteile, da keine wesentlichen Datenlücken vorhanden sind, außerdem deckt das ASTER GDEM mit Ausnahme der Antarktis praktisch die gesamte Landfläche ab. Beide kostenlos verfügbaren Höhenmodelle sind für viele Zwecke verwendbar und stellen in vielen Entwicklungsländern eine bessere Information über die Erdoberfläche dar als bislang vorhanden war.

Literaturverzeichnis

- ASTER GDEM Validation Team: METI/ERSDAC, NASA/LPDAAC, USGS/EROS, 2009: ASTER Global DEM Validation, Summary Report, http://www.ersdac.or.jp/GDEM/E/image/ASTERGDEM_ValidationSummaryReport_Ver1.pdf, last access April 2010
- PASSINI, R., JACOBSEN, K., 2007: High Resolution SRTM Height Models, ISPRS Hannover Workshop 2007, IntArchPhRS. Vol XXXVI Part I/W51 + <http://www.ipi.uni-hannover.de/>