

Ersatz des SRTM Oberflächenmodells durch AW3D30?

KARSTEN JACOBSEN¹

Zusammenfassung: Das digitale Oberflächenmodell (DOM) der Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), das auf Aufnahmen im Jahr 2000 basiert und seit September 2014, mit Ausnahme des Nahen Ostens, mit einem Punktabstand von einer Bogensekunde (arcsec) (~30m am Äquator) frei zur Verfügung steht, hat sich als Standardhöhenmodell für viele Anwendungen etabliert. Basierend auf allen verfügbaren ALOS PRISM tri-stereo Bildern, die vom Januar 2006 bis zum Mai 2011 aufgenommen wurden, hat die japanische Weltraumorganisation JAXA für den Bereich von 82° südlicher bis 82° nördlicher Breite ein DSM unter dem Namen ALOS World 3D (AW3D) erstellt. Das AW3D DSM wird kommerziell mit einem Punktabstand von 5m vertrieben. Hiervon wird mit einem Punktabstand von 1 Bogensekunde als AW3D30 eine Version erstellt, die bereits für große Teile der Erde kostenlos verfügbar ist. Unter anderem ist damit der Nahe Osten mit einer Auflösung von 1 arcsec abgedeckt.

Ein Vergleich von AW3D30 DOM mit ausreichend genauen Referenzhöhenmodellen ergab höhere Genauigkeiten als mit dem SRTM DOM. In gebirgigen Gebieten ist der Vorteil der AW3D30 DOM wegen der Probleme des synthetischen Apertur Radar mit der Signalüberlagerung (lay over) noch größer. Die Vorteile optischer Bilder im Gebirge sind allerdings mit Nachteilen in Gebieten mit extremer Wolkenbedeckung verbunden. In tropischen Gebieten können die Kriterien von AW3D30 gegenüber SRTM anders ausfallen.

1 Einleitung

Die japanische Weltraumbehörde JAXA hat die Erstellung des kommerziellen AW3D Oberflächenmodells aus allen verfügbaren ALOS PRISM Aufnahmen für den Bereich zwischen 82° südlicher Breite bis 82° nördlicher Breite fast abgeschlossen (TADONO et al. 2014; TAKAKU et al. 2014) und erstellt zurzeit die kostenlose Version AW3D30 mit einem Punktabstand von 1 arcsec, entsprechend etwa 30m Abstand am Äquator (Abb. 1). Probleme mit Wolkenbedeckungen deuten sich in Abbildung 1 an den schwarzen Streifen in den bereits erstellten Gebieten an. Die Höhenmodelle werden zusammen mit Qualitätsinformationen geliefert, die die Anzahl der für jeden einzelnen Objektpunkt benutzten Bilder angeben sowie die Standardabweichung gegenüber den Profilpunkten von ICESAT und den nahezu weltweiten DOM von SRTM und ASTER GDEM2 (JACOBSEN 2014).

Die optischen ALOS PRISM Aufnahmen haben eine Objektpixelgröße von 2,5 m, das Aufnahmesystem hatte eine vorausblickende und eine zurückblickende Kamera mit jeweils 24° Nadirwinkel, sowie eine senkrecht schauende Kamera. Mit den geneigten Aufnahmen wird ein Basis-Höhen-Verhältnis von 1:1 erreicht. Die Aufnahmen haben nicht alle eine optimale Bildqualität, was sich jedoch nicht auf die Erstellung der Höhenmodelle ausgewirkt hat.

JAXA gibt für AW3D eine Standardabweichung der Lage und Höhe von 5 m an was in den bislang untersuchten Gebieten deutlich unterschritten wurde.

¹ Leibniz Universität Hannover, Nienburger Str. 1, D-30167 Hannover
E-Mail: jacobsen@ipi.uni-hannover.de

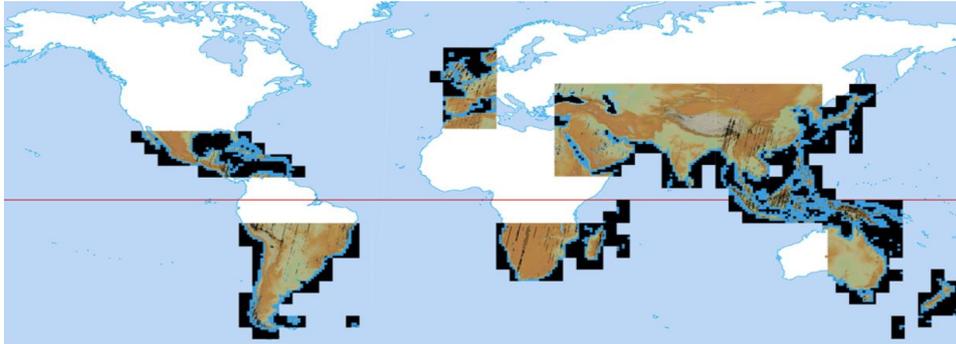


Abb. 1:
Verfügbarkeit von
AW3D30 DOM im
Januar 2016

© JAXA

Es wurden für drei Testgebiete die Standardabweichungen, die Normalized Median Absolute Deviation (NMAD) (HÖHLE & HÖHLE 2009) sowohl absolut, als auch als Funktion der Geländeneigung und für Gebiete mit Geländeneigungen kleiner als 10% ermittelt. Es zeigte sich für AW3D30 eine Abhängigkeit der Höhengenaugigkeit von der Anzahl der Bilder/Punkt.

Zum Vergleich mit den AW3D30 Oberflächenmodellen wurden ebenfalls SRTM-DOM und teilweise ASTER GDEM-2 DOM in den gleichen Gebieten untersucht. Wegen der Abhängigkeit der Höhengenaugigkeit vom Charakter des Geländes ist ein Vergleich nur im gleichen Gebiet möglich. Seit September 2014 sind, mit Ausnahme des Nahen Ostens, die SRTM DOM ebenfalls mit einem Punktabstand von einer Bogensekunde frei verfügbar (Abb. 2).

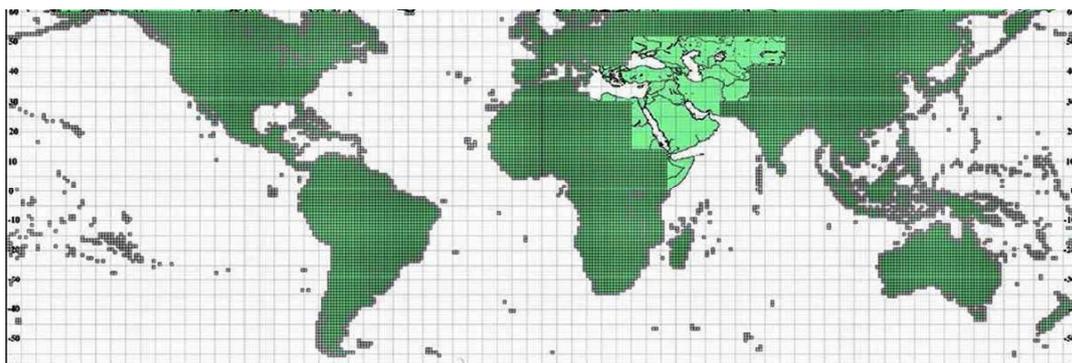


Abb. 2: dunkelgrün = am 22.9.2014 September freigegebene SRTM DOM mit 1 arcsec Punktabstand, hellgrün = Beschränkung auf 3 arcsec Punktabstand (USGS)

2 Untersuchte Datensätze

AW3D30 Oberflächenmodelle wurden in drei Testgebieten untersucht in denen ausreichend genaue Referenzhöhenmodelle vorhanden sind und die auch einen Vergleich mit dem SRTM DOM ermöglichen. Im Benchmark-Testgebiet der ISPRS für Ziyuan 3 in Sainte-Maxime, Frankreich, (<http://www.isprs.org/data/zy-3/data/referencedata/Default.aspx>) steht ein Referenz-DOM der IGN, erstellt aus hochauflösenden Luftbildaufnahmen, zur Verfügung. Das Gebiet weist ebene Flächen auf, ist aber dominierend gebirgig. Das Testgebiet der Bülent Ecevit Universität, Zonguldak, hat einen gebirgigen Charakter mit hoher Rauigkeit. Hier stehen zwei Referenzdatensätze, erstellt aus hochauflösenden Luftbildaufnahmen zur Verfügung. Das SRTM C-Band DOM hat hier zwar nur einen Punktabstand von 3 Bogensekunden, dafür liegen hier aber die etwa gleich genauen SRTM X-Band-Daten mit einer Bogensekunde Punktabstand vor.

Das Testgebiet Jordanien erstreckt sich vom Toten Meer bis nach Amman und ist durch Bergland ohne Bewaldung dominiert.

Zusammen mit den Höheninformationen wird eine Datei mit der Anzahl der Bilder je Objektpunkt und Kopfinformationen über die Höhenverschiebung und Standardabweichung von AW3D30 gegenüber SRTM, ASTER GDEM 2 und ICESAT, sowie die Häufigkeitsverteilung der ASTER PRISM Bildkorrelation geliefert. ICESAT war ein von 2003 bis 2010 aktiver Satelliten-Laserprofiler, der eine Objektbestrahlungsfläche von 70m Durchmesser hatte und in ebenem Gelände eine absolute Höhengenaugigkeit von 0,2 m erreichte. ICESAT-Profilaten wurden zur Höhenverbesserung der AW3D30 DOM und der SRTM DOM herangezogen.

Die Häufigkeitsverteilung der ALOS PRISM Bildkorrelationskoeffizienten (Abb. 3) ist für die Testgebiete unterschiedlich, den größten Prozentsatz hoher Korrelationskoeffizienten gibt es im nicht bewaldeten Testgebiet Jordanien, während die Korrelationskoeffizienten im Testgebiet Zonguldak am kleinsten sind. Ähnlich sieht es mit dem Quadratmittel der Höhenabweichungen von AW3D30 gegenüber SRTM, ASTER GDEM 2 und ICESAT aus, hier ist die Übereinstimmung im Testgebiet Jordanien, das kaum Bewuchs aufweist, am besten, während das Testgebiet Zonguldak die größten Abweichungen hat (Abb. 4). In den Testgebieten Jordanien und Saintes-Maxime zeigen die ICESAT-Daten die kleinsten Widersprüche gegenüber AW3D30. Im Gebiet Zonguldak gibt es offensichtlich zu wenig flache Gebiete, die gute ICESAT-Geländehöhen zulassen. Die größten Unterschiede hat AW3D30 gegenüber ASTER GDEM 2, das auch gegenüber Referenzhöhenmodellen größere Unterschiede als SRTM aufweist.

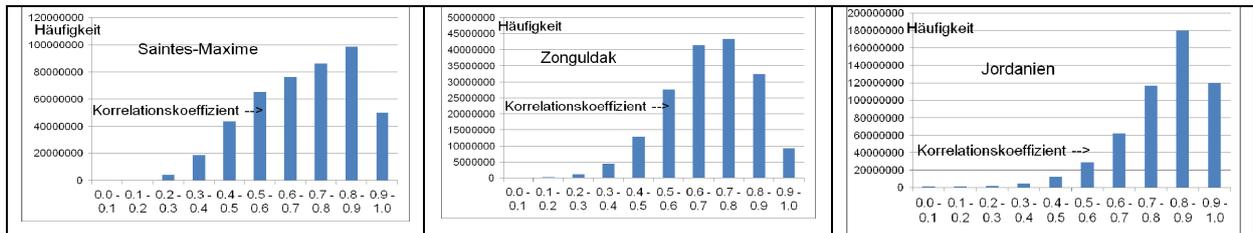


Abb. 3: Häufigkeitsverteilung der Korrelationskoeffizienten von ALOS PRISM (Informationen in den AW3D30-Datenlieferungen enthalten)

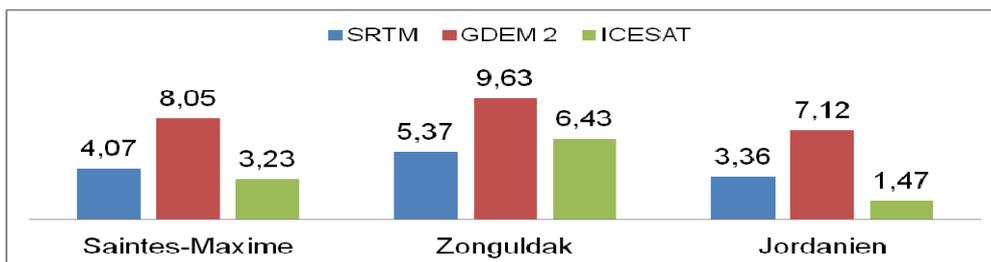


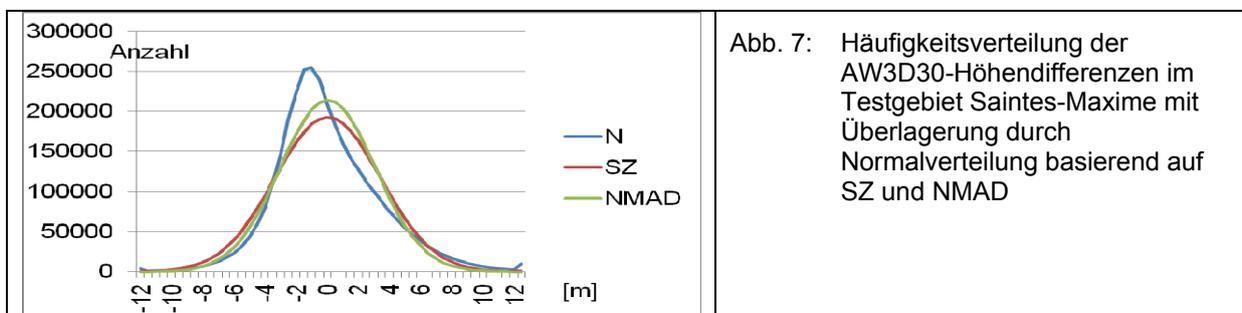
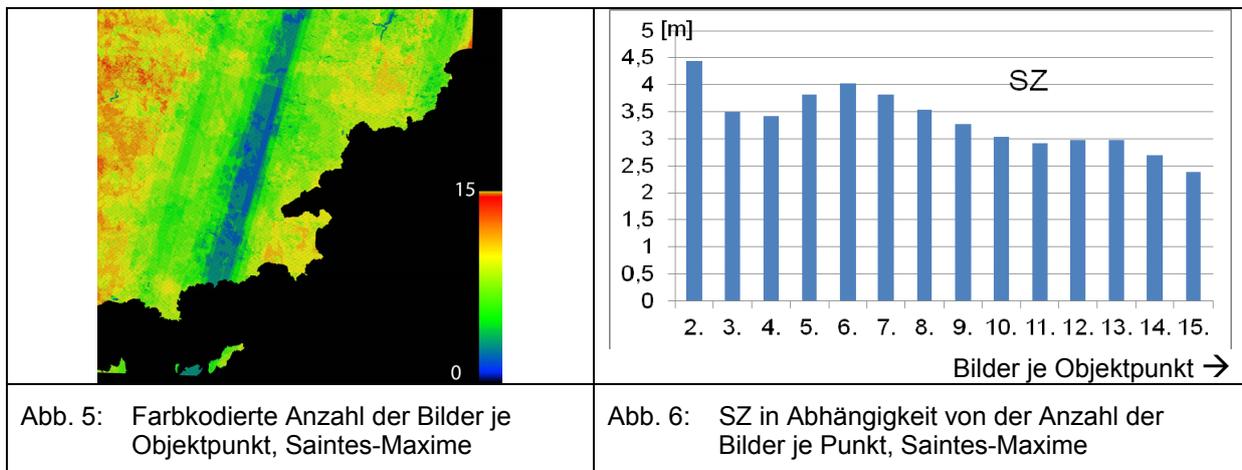
Abb. 4: Quadratmittel der Höhenabweichungen AW3D30 gegen SRTM, ASTER GDEM 2 und ICESAT [m] - entsprechend der AW3D30 Qualitätsinformation

3 Saintes-Maxime

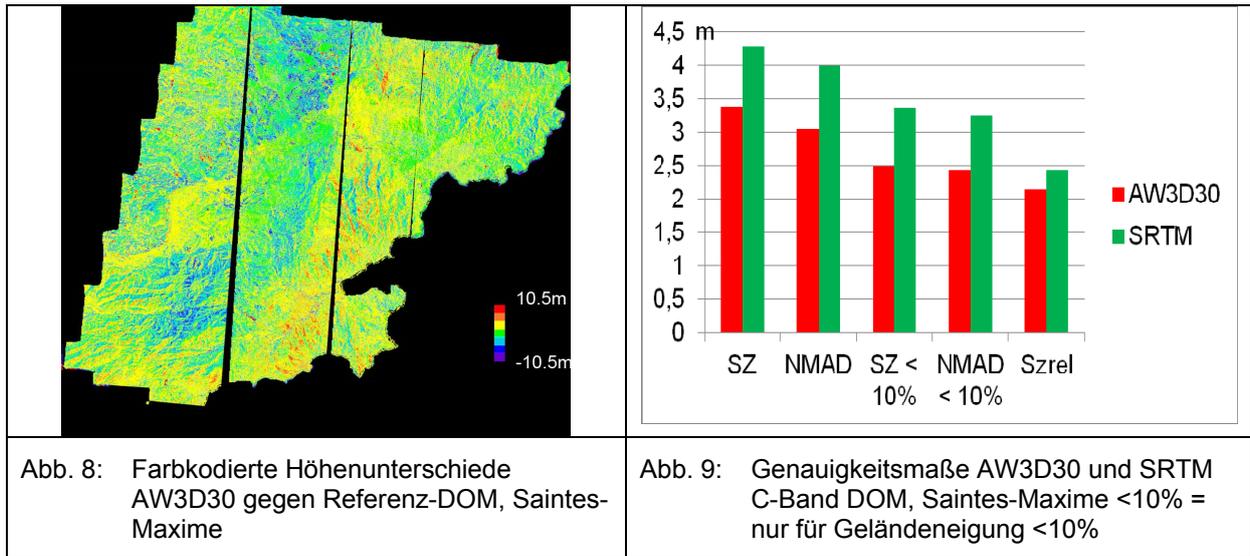
Entsprechend des Referenzhöhenmodells beträgt im Testgebiet Saintes-Maximes die mittlere Geländeneigung benachbarter Punkte 25% und das Quadratmittel der Rauigkeit über 20 m

(linear interpoliert und mit der Höhe in der Mitte verglichen) 2,62 m. Diese Parameter wurden aus dem Referenzhöhenmodell ermittelt. Die von dem Referenzhöhenmodell erfasste Fläche ist allerdings nicht mit dem Untersuchungsgebiet identisch, das durch eine Maske eingeschränkt wurde.

Wie auch in den anderen Testgebieten haben die untersuchten Höhenmodelle Neigungen von bis zu etwa 3m über den Bereich der Höhenmodelle. Das wirkt sich aber auf die Genauigkeitsmaße nur geringfügig aus (JACOBSEN 2016). Wegen Wolkenbedeckung variiert die Anzahl der Bilder je Objektpunkt erheblich. Abb. 5 zeigt die Anzahl der Bilder je Objektpunkt für das Testgebiet Saintes-Maxime, sie geht von 2 bis zu 15 Bildern (Abb. 6), mit im Mittel wurden 7,4 Bilder je Objektpunkt. Als ausgleichende Funktion ergibt sich die Standardabweichung der Höhe (SZ) zu $SZ=4.29 \text{ m} - 0.14 \text{ m} \times \text{Anzahl der Bilder}$.



Die Häufigkeitsverteilung der AW3D30 DOM Höhendifferenzen gegenüber dem Referenz-DOM (Abb. 7) zeigt eine Kurtosis von 1,03 und eine Schiefe von 0,50 obwohl ein Oberflächenmodell mit einem anderen verglichen wird. In den anderen Untersuchungsgebieten ist Kurtosis größer, während die Schiefe kleiner ausfällt. Die farbkodierten Höhendifferenzen (Abb. 8) deuten allerdings an, dass sich die Vegetation während der Aufnahmezeitpunkte verändert hat. Wie in den meisten Fällen stimmt die Normalverteilung basierend auf NMAD besser mit der tatsächlichen Häufigkeitsverteilung überein als die Normalverteilung basierend auf der Standardabweichung – NMAD ist somit eine bessere Beschreibung der tatsächlichen Normalverteilung (Abb. 7).



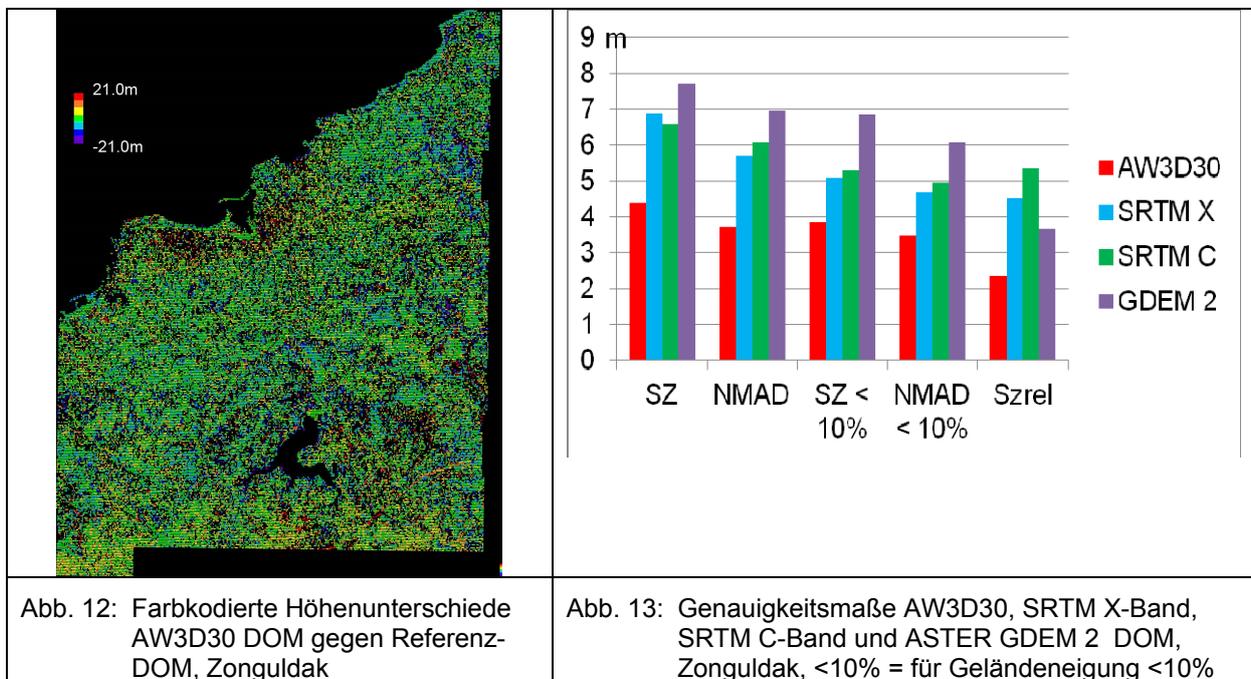
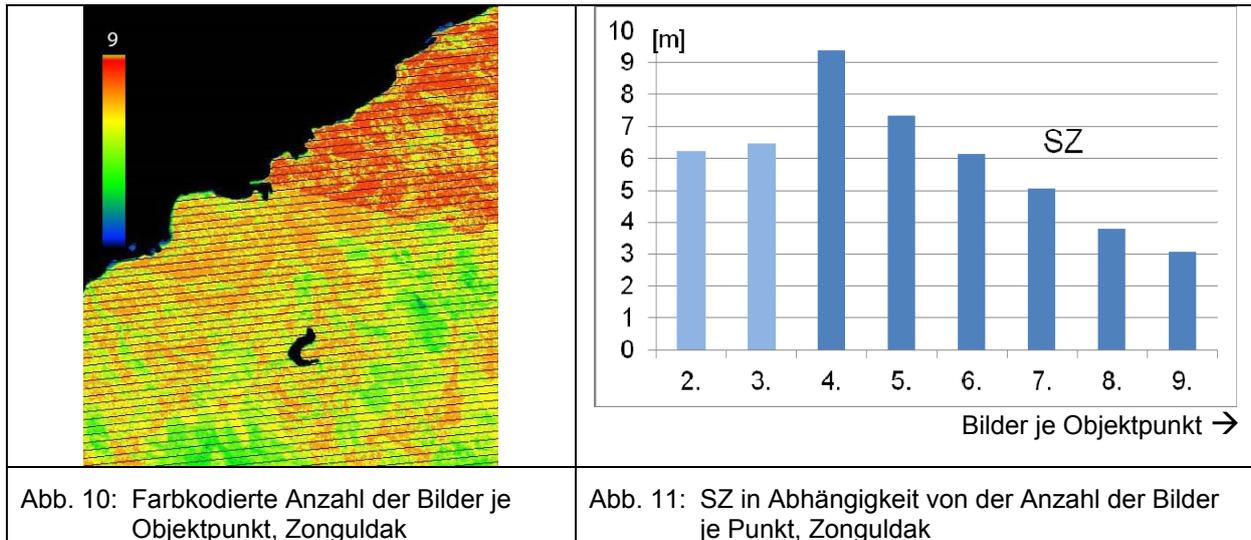
Tab. 1: Genauigkeitsmaße als Funktion der Geländeneigung, α = Geländeneigung

	SZ	NMAD
AW3D30	$SZ = 3.15 \text{ m} + 1.70 \text{ m} \times \tan \alpha$	$NMAD = 2.75 \text{ m} + 1.94 \text{ m} \times \tan \alpha$
SRTM C-Band	$SZ = 4.04 \text{ m} + 1.63 \text{ m} \times \tan \alpha$	$NMAD = 3.60 \text{ m} + 1.99 \text{ m} \times \tan \alpha$

Abbildung 9 zeigt die Genauigkeitsmaße des AW3D30 und des SRTM DOM. Wie üblich ist die Höhengenaugigkeit von der Geländeneigung abhängig (Tabelle 1), weswegen die Genauigkeit ebenfalls für die Bereiche mit einer Geländeneigung bis zu 0,1 (10%) dargestellt ist. Die Genauigkeitsabhängigkeit als Funktion der Geländeneigung kann nicht direkt mit der Genauigkeit für Bereiche mit Geländeneigungen < 10% verglichen werden, da die ausgleichende Funktion von der Verteilung der Genauigkeiten für alle Neigungsgruppen abhängt. Der neigungsabhängige Term sagt aber etwas über die Geländecharakteristik und die Bestimmungsmethode der Höhenmodelle aus. So ist das interferometrische syntaktische Radar von SRTM stark von nahezu senkrechten Geländeteilen abhängig. AW3D30 zeigt eine deutlich höhere Genauigkeit als SRTM. Die Relativgenauigkeit direkt benachbarter Punkte $SQRT((\sum(DZ_i - DZ_j)^2)/2n)$ gibt die Genauigkeit unabhängig von Modelldeformationen, Orientierungseinflüssen und auch großflächigen Veränderungen der Vegetation an. Sie stellt die Grenzgenauigkeit der Oberflächenmodelle dar.

4 Zonguldak

Das gebirgige Gebiet Zonguldak (Küste des Schwarzen Meeres nördlich von Ankara) enthält teilweise städtische Bereiche und offene Flächen, hauptsächlich aber leicht bewaldete Gebiete. Die mittlere Geländeneigung benachbarter Punkte beträgt 26% und das Quadratmittel der Rauigkeit über 24 m (linear interpoliert und mit der Höhe in der Mitte verglichen) 0.89 m, wobei zu berücksichtigen ist, dass die Rauigkeit in der Regel quadratisch von der Interpolationsweite abhängig ist. Eine Rauigkeit von 0.89 m über 24 m Distanz entspricht deswegen einer Rauigkeit von 0,62 m über 20 m Distanz.



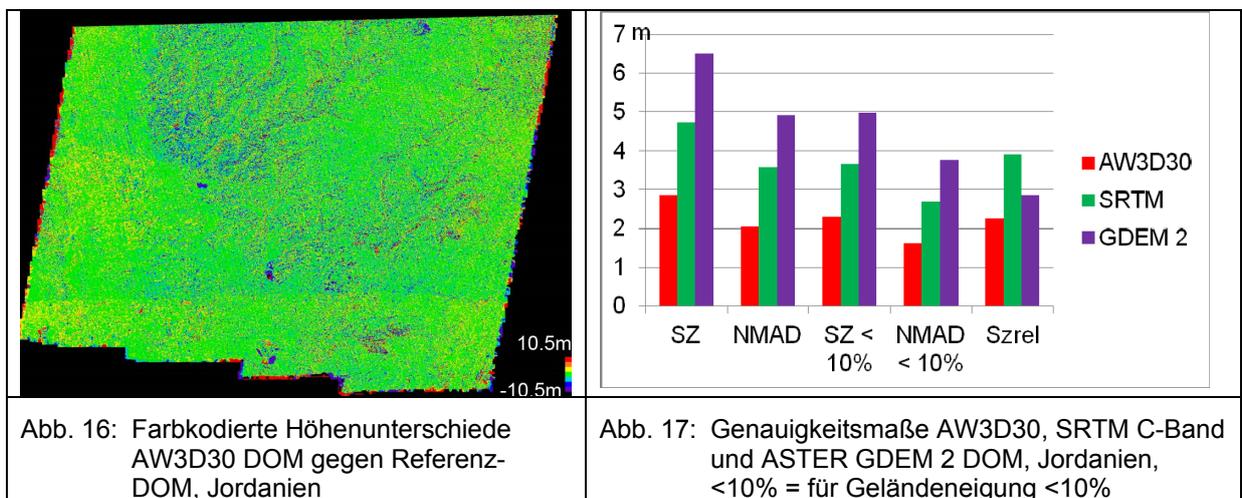
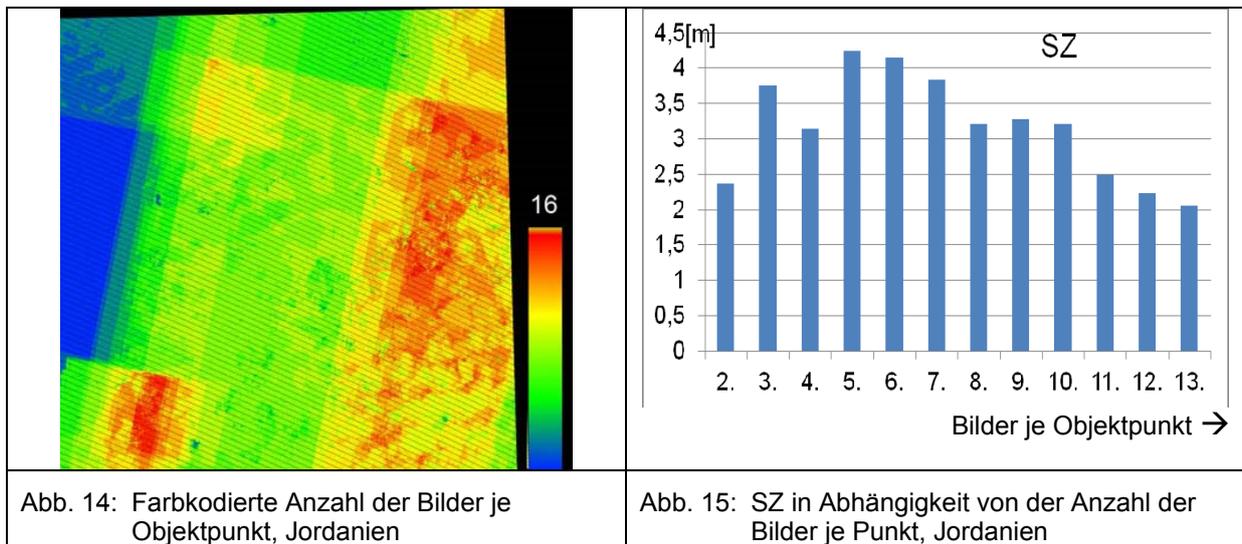
Im Testgebiet Zonguldak wurden mit im Durchschnitt 6.75 Bilder je Objektpunkt etwas weniger Bilder für die Erstellung von AW3D30 verwendet (Abb. 10) als in Saintes-Maxime. Die Abhängigkeit der Standardabweichung von der Anzahl der Bilder je Punkt (Abb. 11) zeigt eine Unstetigkeit für 2 bzw. 3 Bilder je Punkt, hier sind allerdings nur 21 bzw. 32 Höhenpunkte gegenüber im Durchschnitt mehr als 10 000 Punkte für die anderen Gruppen vorhanden, dementsprechend ist die gewichtete lineare Abhängigkeit: $SZ = 9,20 \text{ m} - 0,90 \text{ m} \times \text{Anzahl der Bilder je Punkt}$. Da die steileren Geländeabschnitte teilweise nahezu senkrechte Wände enthalten ist die Abhängigkeit von der Geländeneigung bei AW3D30 bei etwa $5,0 \times \tan \alpha$, während sie bei SRTM in der Größenordnung von $12,0 \times \tan \alpha$ liegt. Dieses erklärt teilweise die schlechteren Ergebnisse des Testgebiets Zonguldak.

Die Bereiche der Stadt Zonguldak (Mitte oben in Abb. 12) fallen durch größere Höhenabweichungen auf. Generell ist im Testgebiet Zonguldak wegen der hohen Geländerauigkeit und des teilweisen Einflusses von Bewaldung und Bebauung die Standardabweichung der Höhenmodelle (Abb. 13) größer als in den beiden anderen Testgebieten. Die hier vorliegenden SRTM C-Band und X-Band DOM unterscheiden sich nur geringfügig, wogegen das ASTER GDEM 2 DOM, mit Ausnahme der Relativgenauigkeit, deutlich schlechter ist. AW3D30 zeigt erheblich bessere Genauigkeiten als die anderen DOM.

5 Jordanien

Für das Testgebiet Jordanien beläuft sich die mittlere Geländeneigung benachbarter Punkte auf 19% und das Quadratmittel der Rauigkeit über 40 m auf 3,23 m, entsprechend einer Rauigkeit von 0,81 m über 20 m Distanz.

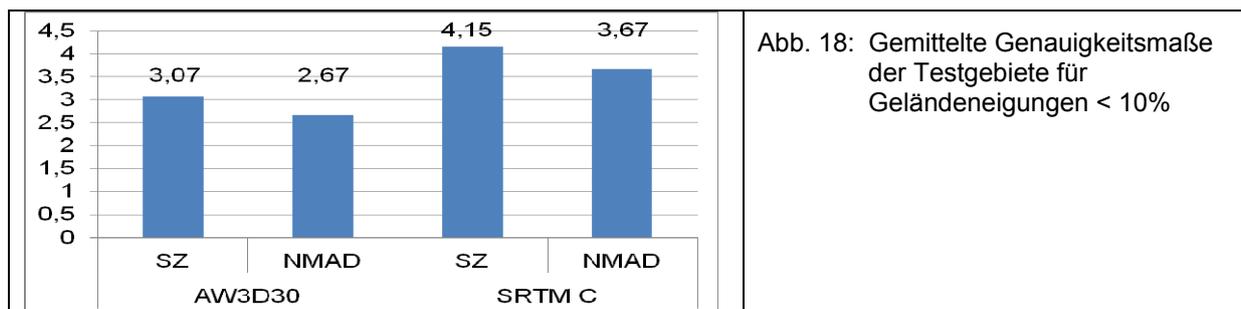
Mit im Durchschnitt 5,32 Bildern je Objektpunkt wurden weniger Bilder verwendet als in Saintes-Maxime und in Zonguldak. Als ausgeglichene Funktion ergibt sich: $SZ = 4,08 \text{ m} - 0,18 \text{ m} \times \text{Anzahl der Bilder je Punkt}$.



Die Genauigkeitsabhängigkeit von der Geländeneigung ist etwa so wie im Gebiet Saintes-Maxime. Im Testgebiet Jordanien bestätigen sich die Relationen der oben dargestellten Untersuchungen, AW3D30 zeigt eine deutlich bessere Genauigkeit als das SRTM DOM und ASTER GDEM 2 zeigt die größten Genauigkeitsmaße. Wie in Zonguldak ist allerdings die relative Genauigkeit von ASTER GDEM 2 besser als die für SRTM.

6 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Die Größen der Genauigkeitsmaße der drei untersuchten Testgebiete unterscheiden sich, wegen unterschiedlicher Vegetation, Geländeneigung, Bebauung und Geländecharakteristik, wie es auch in anderen Testgebieten der Fall ist (JACOBSSEN 2014). Bereits die Qualitätsinformationen von AW3D30 (Abb. 4) deuten auf schlechtere Ergebnisse für das Testgebiet Zonguldak hin. Dagegen stimmen die Ergebnisse der Gebiete Saintes-Maxime und Jordanien relativ gut überein. Sowohl der Mittelwert der Standardabweichungen als auch der von NMAD ist für das SRTM DOM um etwa 35% größer als für AW3D30 (Abb. 18). Die Relationen der Genauigkeitsmaße stimmen in den drei Gebieten überein.



Wie sich bereits früher zeigte (JACOBSSEN 2014) und auch der der Fall ist, erreicht das ASTER GDEM 2 nicht die Genauigkeit des SRTM DOM, wie es die in der Datenlieferung enthaltene Qualitätsinformation von AW3D30 auch angibt. Die Relativgenauigkeit und damit die morphologische Qualität, ist allerdings besser als bei SRTM, aber nicht so gut wie bei AW3D30. Auf der Grundlage dieser Untersuchungen kann das AW3D30 als Ersatz für das SRTM DOM empfohlen werden. Die untersuchten Testgebiete decken Problembereiche der Höhenmodelle, wie durch Vegetation und Gebirge, gut ab. Abbildung 1 zeigt aber auch Gebiete in denen AW3D30 wegen Wolkenbedeckung Lücken aufweist. Andererseits werden die Bereiche von 62° bis 82° nördlicher Breite erfasst, für die keine SRTM-Höhendaten vorliegen. Soweit AW3D30 für das zu bearbeitende Gebiet vorliegt, empfiehlt es sich, AW3D30 dem SRTM DOM vorzuziehen.

7 Literaturverzeichnis

- HÖHLE, J. & HÖHLE, M., 2009: Accuracy Assessment of Digital Elevation Models by means of Robust Statistical Methods. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* **64**, 398-406.
- JACOBSEN, K., 2014: Performance of large Area Covering Height Models. Proceeding of the 34th EARSeL Symposium, Warsaw.
- JACOBSEN, K., 2016: Analysis and Correction of Systematic Height Model Errors. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* **41** (I-B1).
- TADONO, T., ISHIDA, H., ODA, F., NAITO, S., MINAKAWA, K. & IWAMOTO, H., 2014: Precise Global DEM Generation by ALOS PRISM. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, **2** (4), 71-76.
- TAKAKU, J., TADONO, T. & TSUTSUI, K., 2014: Generation of High Resolution Global DSM from ALOS PRISM. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* **40** (4), 243-248.