

Ortwin Kessels

**Qualitätsanalyse verschiedener digitaler
Geländemodelle und deren Eignung für die
Prozessierung von Satellitenbilddaten
in den Tropen**

**ERDSICHT - EINBLICKE IN GEOGRAPHISCHE
UND GEOINFORMATIONSTECHNISCHE ARBEITSWEISEN**

Schriftenreihe des Geographischen Instituts der Universität Göttingen,
Abteilung Kartographie, GIS und Fernerkundung

Herausgegeben von Prof. Dr. Martin Kappas

ISSN 1614-4716

Ortwin Kessels

**QUALITÄTSANALYSE
VERSCHIEDENER DIGITALER
GELÄNDEMDELLE UND DEREN
EIGNUNG FÜR DIE PROZESSIERUNG
VON SATELLITENBILDDATEN
IN DEN TROPEN**

ibidem-Verlag
Stuttgart

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Bibliographic information published by the Deutsche Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek lists this publication in the Deutsche Nationalbibliografie; detailed bibliographic data are available in the Internet at <http://dnb.d-nb.de>.

Dieser Titel ist als Printversion im Buchhandel
oder direkt bei *ibidem* (www.ibidem-verlag.de) zu beziehen unter der

ISBN 978-3-89821-603-6.

∞

ISSN: 1614-4716

ISBN-13: 978-3-8382-5603-0

© *ibidem*-Verlag
Stuttgart 2012

Alle Rechte vorbehalten

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und elektronische Speicherformen sowie die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in or introduced into a retrieval system, or transmitted, in any form, or by any means (electronical, mechanical, photocopying, recording or otherwise) without the prior written permission of the publisher. Any person who does any unauthorized act in relation to this publication may be liable to criminal prosecution and civil claims for damages.

Die Reihe „Erdsicht – Einblicke in geographische und geoinformationstechnische Arbeitsweisen“ soll Forschungsergebnisse und Arbeiten im Bereich der Erdsystemforschung vorstellen. Die Betrachtung der Erde als System ist als Inhalt heutiger und zukünftiger Geowissenschaftlicher Gemeinschaftsforschung dringend gefordert. Die Herausforderungen liegen zum einen in der Erforschung der vielfältigen Interaktionen zwischen den verschiedenen Teilbereichen des Systems Erde. Hierzu zählen Wechselwirkungen zwischen fester Erde und Atmosphäre, zwischen der Landoberfläche und der Hydrosphäre oder zwischen Biosphäre, Hydrosphäre und Atmosphäre. Der Mensch steht dabei mit seinen zentralen Nutzungsansprüchen (Ernährung – landwirtschaftliche Nutzung – Ressourcennutzung) im Mittelpunkt eines vielfach vernetzten Erdsystems. Der Mensch verändert Landschaften und Atmosphäre und greift somit in alle Skalenbereiche des Erdsystems ein. Insofern müssen diese Veränderungen beobachtet und bewertet werden, damit Konzepte für ein nachhaltiges Erdsystemmanagement auf den unterschiedlichen Raum- und Zeitskalen entwickelt werden können. Die neuen Geoinformationstechniken (Geostatistik; Geographische Informationssysteme – GIS; luft- und Satellitengestützte Fernerkundungssysteme – Remote Sensing) helfen dabei das System Erde zu beobachten und zu begreifen. Ohne diese Technik ist eine ganzheitliche Betrachtung der Erde und eine flächenhafte Bereitstellung von Informationen über das Erdsystem nicht möglich.

Die vorliegende Arbeit von Ortwin Kessels zur Bewertung von Geländemodellen beschäftigt sich mit der Evaluierung von Geländemodellen aus unterschiedlichen Datenquellen (SRTM, Spot, Aster, etc.). Geländemodelle stellen heute für viele angewandte Fragestellungen der Landschaftsbewertung die Datenbasis dar. Deshalb stellt sich bei der Verwendung dieser Modelle sofort auch die Frage nach deren Qualität. Der Anspruch einer naturgetreuen Nachbildung des Reliefs und seiner Eigenschaften steht im Vordergrund. Für die Nachbildung des Reliefs ist insbesondere die Höhengenaugigkeit sowie die horizontale Lagegenauigkeit und Auflösung des Modells entscheidend. Neben den terrestrischen Anwendungen von Geländemodellen (DGM oder

DTM) sind sie vor allem auch für die Korrektur von Satellitendaten unentbehrlich. Die vorliegende Studie widmet sich der Qualitätsüberprüfung unterschiedlich abgeleiteter Geländemodelle.

Martin Kappas

Abkürzungen

ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
B/H	Base and Height
BRDF	Bidirectionale Reflectance Distribution Function
c/a-Code	coarse acquisition-Code
DGM	digitales Geländemodell
(D)GPS	(differentielles) Global Positioning System
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
DOM	digitales Oberflächenmodell
EDC	Earth Data Center
EROS	The Earth Resources Observation Systems
ERS	Earth Remote Sensing
ESA	European Space Agency
GCP	Ground Control Point
GSM	Global System for Mobile Communications
HRSC-AX	High Resolution Stereo Scanner Airborne Extended
(In)SAR	(Interferometrisches) Synthetic Aperture Radar System
JPL	Jet Propulsion Laboratory
LIDAR	Light Detection and Ranging
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NAVSTAR	Navigation System Using Time And Ranging
Radar	radio detection and ranging
RAR	Real Aperture Systems
RMS	Root Mean Square
SA	Selective Availability

SFB	Sonder Forschungsbereich
SPOT	Satellite pour l'observation de la terre
SRTM	Shuttle Radar Topographic Mission
STORMA	Stability of Rainforest Margins in Indonesia
TIN	triangular irregular network
TK	Topographische Karte
USGS	United States Geological Survey
UKW	Ultra Kurzwelle

Inhaltsverzeichnis

1.0	EINLEITUNG	1
1.1	Einführung und Ziele	2
1.2	Stand der Forschung	3
2.0	GRUNDLEGENDE BEGRIFFE DER DGM-ERSTELLUNG	7
2.1	DGM-Erstellung durch das Digitalisieren von topographischen Karten .	8
2.1.1	Der Kriging-Algorithmus.....	9
2.1.2	Beschreibung des in den TK50-Blättern enthaltenen Geländemodells	10
2.1.3	Beispiel zur Erstellung eines Geländemodells aus digitalisierten Daten	11
2.2	DOM-Erstellung durch stereoskopische Auswertung	13
2.2.1	Prozessierungsmethoden zur stereoskopischen Erstellung eines DOM	15
2.2.2	Vor- und Nachteile der Stereoskopie.....	16
2.2.3	Beispiel zur Berechnung eines Geländemodells aus SPOT4-Daten	16
2.2.4	Photogrammetrische Systeme zur Geländemodellerstellung HRSC- AX	19
2.3	DOM Erstellung durch Radar-Interferometrie	23
2.3.1	Das Prinzip der radargestützten Fernerkundung.....	24
2.3.2	Funktionsprinzip eines Real Aperture Systems	25
2.3.3	Funktionsprinzip eines Synthetic Aperture Radar.....	25
2.3.4	Das Prinzip der Radarinterferometrie	27
2.3.5	Faktoren, die Einfluss auf die Datenqualität von Radarbildern haben..	28
2.3.6	Radargestützte Systeme	31
2.4	DOM Erstellung durch Laserscanning Systeme	35
2.4.1	Laserscanning System	37
2.5	DGPS Vermessung als Referenz	38
2.5.1	Einführung in das Global Positioning System (GPS).....	38

2.5.2 Funktionsweise des Global Positioning System	39
2.5.3 Die differentielle GPS Auswertung	40
2.5.4 GPS gestützte Systeme.....	42
2.6 Vergleichende Diskussionen der Systeme und Methoden	44
3.0 VORSTELLEN DES TESTGEBIETES FÜR DIE QUALITÄTSUNTERSUCHUNG	45
3.1 Beschreibung der Geländeoberfläche im Untersuchungsgebiet.....	47
3.2 Besondere Problematik der Tropen im Hinblick auf die Fernerkundung	48
4.0 QUALITÄTSANALYSEN DER VERSCHIEDENEN GELÄNDEMDELLE FÜR DAS TESTGEBIET	51
4.1 Grundsätze der Qualitätskontrolle	51
4.2 Statistische Auswertungen auf Grundlage der InSAR X-Band Daten- basis	52
4.2.1 Berechnung der Standardabweichung anhand des X-Band InSAR DOM	52
4.2.2 Vergleich der Standardabweichung mit der Exposition des Geländes	56
4.2.3 Zusammenhang zwischen Geländesteigung und Standardabwei- chung	59
4.3 Vergleich der InSAR X-Band Daten mit den SRTM Daten	63
4.3.1 Cross Plott der InSAR X-Band Daten gegen die SRTM Daten	64
4.3.2 Differenz zwischen InSAR x-Band DOM und den SRTM DOM.....	65
4.3.3 Differenz InSAR X-Band DOM minus SRTM DOM gegen die Gelän- desteigung	67
4.3.4 Vergleich der Landnutzungsformen mit den Differenzdaten.....	76
4.3.5 Standardabweichung der InSAR X-Band DOM Werte in Abhängigkeit der Differenz	83
4.4 Vergleich der DGM-Daten der TK-50 mit den InSAR X-Band-Daten...	84
4.4.1 Cross Plott InSAR X-Band DOM gegen das TK-50 DOM	85
4.4.2 Differenzbildung InSAR X-Band DOM minus TK50 DOM	86
4.4.3 Vergleich der Differenzwerte in den einzelnen Höhenstufen.....	89

4.5 Vergleich der Geländemodelle mit den Leica GS50 Referenzpunkten 90

5.0 QUALITÄTSANALYSEN DER DIGITALEN GELÄNDEMDELLE AUF GRUNDLAGE DER ANWENDUNGEN FÜR DIE PROZESSIERUNG VON SATELLITENBILDDATEN95

5.1 Qualitätsbewertung auf Basis einer Orthobilderstellung aus hochauflösenden Satellitendaten 95

5.1.1 Funktionsprinzip der Orthobilderstellung 95

5.1.2 Beschreibung des Verfahrens zur Qualitätsbewertung 97

5.1.3 Auswertung der Passpunkte auf Grundlage des InSAR X-Band DOM 100

5.1.4 Auswertung der Passpunkte auf Grundlage des SRTM DOM..... 102

5.1.5 Auswertung der Passpunkte auf Grundlage des TK50 DGM 104

5.1.6 Bewertung der Qualitätsunterschiede..... 105

5.2 Die Ableitung von Qualitätsmerkmalen aus der topographischen Normalisierung..... 106

5.2.1 Methoden zur topographischen Normalisierung 108

5.3 Durchführung einer C-Faktoren-Korrektur für eine Landsat 7 Szene des Testgebietes 111

6.0 ZUSAMMENFASSUNG UND ERGEBNISSE.....117

7.0 LITERATUR-, QUELLEN- & SOFTWAREVERZEICHNIS ..121

7.1 Literatur..... 121

7.2 Internetquellen 126

7.3 Verwendete GIS- & Fernerkundungs-Software 127

8.0 ANHANG.....I

Abbildungsverzeichnis

Abb.1: Flussplan der Ansatzpunkte zur Qualitätsanalyse	2
Abb.2: Mit ArcView abdigitalisierte Höhenlinien innerhalb des Testgebietes	11
Abb.3: Beleuchtungsmodell des aus den Höhenlinien (mittels Krigin-Verfahren) interpolierten DGM	12
Abb.4: Graphische Darstellung der stereoskopischen Parallaxe	14
Abb.5: Korrelationskanal nach der stereoskopischen Auswertung des SPOT4 Bildpaares	18
Abb.6: Klassifikation der Landsat Szene vom 28.09.02.....	18
Abb.7: HRSC-A mit ApplAnix Gyro-System.....	20
Abb.8: SPOT5 System: HRS Sensor mit Vor- und Rückwärtsstereoperformance	21
Abb.9: ASTER VNIR Sensor zur Erstellung von Stereobildpaaren.....	23
Abb.10: Geometrische Darstellung der maximal möglichen Länge der synthetischen Antenne.....	26
Abb.11: Geometrischer Ansatz der interferometrischen Höhendifferenz über den Winkel theta	28
Abb.12: AMI Image Mode Geometrie des ERS Satelliten.....	32
Abb.13: Einsatz des SIR-C/XSAR während der Mission	34
Abb.14: Beispiel für eine durch First Echo und Last Echo gewonnene Baumhöhe	36
Abb.15: Links ein Oberflächenmodell aus dem First Echo und rechts aus dem Last Echo	36
Abb.16: Falcon LIDAR Sensor System der Firma TopoSys	38
Abb. 17: Schematische Darstellung zweier kreisförmiger GPS-Signal-Ausbreitungswellen	40
Abb.18: Prinzip des DGPS- Aufbaus mit den Sendewegen des Korrektursignals.....	41

Abb.19: Referenzstation mit Leica GS50 Sensor und verstärkter Sendeanlage für eine größere Über-tragungsweite des Referenzsignals.....	43
Abb.20: Karte von Sulawesi.....	45
Abb.21: Landsat7 Szene vom 28.09.02 verschnitten mit dem InSAR X-Band Geländemodell.....	46
Abb.22: Absorptionsbande in der Atmosphäre	48
Abb.23: Mit Erdas Imagine 8.7 erstelltes Modell zur Berechnung der Standardabweichung.....	54
Abb.24: Die Standardabweichung des InSAR X-Band DOM in Metern, dargestellt in Farbe und als Schummerung.....	56
Abb.25: Scatterplott der Exposition auf der X-Achse gegen die Standardabweichung im InSAR X-Band DOM auf der Y-Achse.....	57
Abb.26: Exposition mit den beiden Klassen aus dem Scatterplott.....	58
Abb.27: Die Höhe der Standardabweichung von blau nach schwarz dargestellt.....	58
Abb.28: Cross Plot der Datenreihen für die Steigung gegen die Standardabweichung bei 90 Meter Auflösung.....	62
Abb.29: Cross Plott der InSAR DOM Daten (reprojiziert auf 90 Meter mit dem Mittelwertverfahren) gegen die SRTM Daten.....	64
Abb.30: Differenz in Metern zwischen InSAR X-Band und SRTM farbig dargestellt.....	65
Abb.31: Beleuchtete InSAR X-Band Geländemodell, überlagert mit den Differenzwerten von -5 bis +5.....	66
Abb.32: Cross Plott zwischen den Differenzdaten und der Geländesteigung.....	67
Abb.33: Cross Plott zwischen den Differenzdaten und der Geländesteigungsklasse 0 bis 5 %	68
Abb.34: Häufigkeitsverteilung der Differenzwerte für die Geländesteigungsklasse 0 bis 5%	69

Abb.36: Häufigkeitsverteilung der Differenzwerte für die Geländesteigungs- klasse 5 bis 15%	70
Abb.37: Cross Plott zwischen den Differenzdaten und der Geländesteigungs- klasse 15 bis 30 %	71
Abb.38: Häufigkeitsverteilung der Differenzwerte für die Geländesteigungs- klasse 15 bis 30%	72
Abb.39: Cross Plott zwischen den Differenzdaten und der Geländesteigungs- klasse 30 bis 45 %	72
Abb.40: Häufigkeitsverteilung der Differenzwerte für die Geländesteigungs- klasse 30 bis 45%	73
Abb.41: Cross Plott zwischen den Differenzdaten und der Geländesteigung 45 bis 70 %	74
Abb.42: Häufigkeitsverteilung der Differenzwerte für die Geländesteigungs- klasse 45 bis 69 %	74
Abb.43: Schattierungsmodell aus 90 m InSAR X-Band Daten mit eingezeich- netem Untersuchungsgebiet	75
Abb.44: Klassifikation des Testgebietes	77
Abb.45: Differenzen der Geländemodelle unter der Waldmaske gegen die Geländesteigung	78
Abb.46: Häufigkeitsverteilung der Differenzwerte zwischen dem InSAR X- Band DOM und dem SRTM DOM für die Klasse Primärwald	79
Abb.47: Häufigkeitsverteilung der Differenzwerte zwischen dem InSAR X- Band DOM und dem SRTM DOM für die Klasse Sekundärwald	81
Abb.48: Häufigkeitsverteilung der Differenzwerte zwischen dem InSAR X- Band DOM und dem SRTM DOM für die Klasse Plantagen	82
Abb.49: Häufigkeitsverteilung der Differenzwerte zwischen dem InSAR X- Band DOM und dem SRTM DOM für die Klasse Reisfelder	83
Abb.50: Cross Plott der Differenzen gegen die Standardabweichung der X- Band Daten (90m)	84
Abb.51: Cross Plott zwischen InSAR X-Band DOM und TK50 DGM	85

Abb.52: Differenzbild zwischen dem InSAR X-Band DOM minus TK-50 DOM	86
Abb.53: Fehler im TK50 Modell	87
Abb.54: Vergleich der Geländedarstellung der Talebene bei Toro im X-Band DOM und TK50 DOM mit zugehöriger Differenzdarstellung	87
Abb.55: Überblendung des TK50 Geländemodells mit der dazugehörigen topographischen Karte	88
Abb.56: Fotografie des Talbereiches in der Nähe von Toro	89
Abb.57: Verteilung der DGPS Passpunkte im Testgebiet.....	91
Abb.58: Cross Plott der DGPS Höhenpunkte gegen die entsprechenden Rasterzellen des SRTM DOM.....	92
Abb.59: Cross Plott der DGPS Höhenpunkte gegen die entsprechenden Rasterzellen des TK50 DOM	93
Abb.60: Cross Plott der DGPS Höhenpunkte gegen die entsprechenden Rasterzellen des InSAR X-Band DOM.....	94
Abb.61: Schematische Abbildung der Orthokorrektur	96
Abb.62: Markierte DGPS-Messstellen im Foto einer Brücke in Toro	98
Abb.63: Lageskizze der DGPS-Punkte an einer Brücke in Toro.....	98
Abb.64: Ausschnitt aus dem mit dem X-Band DOM orthokorrigierten Quick- bird Satellitenbild und den DGPS-Punkten des Leica GS50.....	99
Abb.65: Cross Plott der Vektorverschiebung in X-Richtung (Orthobildgrund- lage InSAR X-Band DOM) gegen die Höhe (m).....	101
Abb.66: Cross Plott der Vektorverschiebung in Y-Richtung (Orthobildgrund- lage InSAR X-Band DOM) gegen die Höhe (m).....	101
Abb.67: Cross Plott der Vektorverschiebung in X-Richtung (Orthobildgrund- lage SRTM DOM) gegen die Höhe (m).....	103
Abb.68: Cross Plott der Vektorverschiebung in Y-Richtung (Orthobildgrund- lage SRTM DOM) gegen die Höhe (m).....	103
Abb.69: Cross Plott der Vektorverschiebung in X-Richtung (Orthobildgrund- lage TK DGM) gegen die Höhe (m)	104