

PRG

Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation

Organ der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie,
Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) e.V.

Jahrgang 2006, Heft 2

Hauptschriftleiter:
Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus Szangolies

Schriftleiter:
Prof. Dr. rer.nat. Carsten Jürgens und Dr.-Ing. Eckhardt Seyfert

Redaktionsbeirat (Editorial Board): Clement Atzberger, Ralf Bill, Eberhard Gülch,
Christian Heipke, Barbara Koch, Hans-Gerd Maas, Jochen Schiewe, Matthäus Schilcher
und Monika Sester



E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung
(Nägele u. Obermiller) Stuttgart 2006



Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung
und Geoinformation (DGPF) e.V.
Gegründet 1909

Die *Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation* (DGPF) e.V. unterstützt als Mitglieds- bzw. Trägergesellschaft die folgenden Dachverbände:



International Society
for Photogrammetry
and Remote Sensing

DAGM

Deutsche Arbeits-
gemeinschaft für
Mustererkennung e.V.



Herausgeber:

© 2006 Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) e.V.
Präsident: Prof. Dr.-Ing. Thomas Luhmann, Fachhochschule Oldenburg Ostfriesland Wilhelmshaven, Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik, Ofener Str. 16, D-26121 Oldenburg, Tel.: +49-441-7708-3172, e-mail: Praesident@dgpf.de, www.dgpf.de
Geschäftsstelle: Dr. Klaus-Ulrich Komp, c/o EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH, Ostmarkstraße 92, D-48145 Münster, e-mail: klaus.komp@eftas.com

Published by:

E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Johannesstraße 3 A, D-70176 Stuttgart. Tel.: 07 11/35 14 56-0, Fax: 07 11/35 14 56-99, e-mail: mail@schweizerbart.de
Internet: <http://www.schweizerbart.de>

© Gedruckt auf alterungsbeständigem Papier nach ISO 9706-1994

All rights reserved including translation into foreign languages. This journal or parts thereof may not be reproduced in any form without permission from the publishers.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in dieser Zeitschrift berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Verantwortlich für den Inhalt der Beiträge sind die Autoren.

ISSN 1432-8364

Hauptschriftleiter: Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus Szangolies, Closewitzer Str. 44, D-07743 Jena. e-mail: Klaus.Szangolies@t-online.de

Schriftleiter: Prof. Dr. rer. nat. Carsten Jürgens, Ruhr-Universität Bochum, Geographisches Institut, Gebäude NA 7/133, D-44780 Bochum, e-mail: carsten.juergens@rub.de und Dr.-Ing. Eckhardt Seyfert, Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg, Heinrich-Mann-Allee 107, D-14473 Potsdam, e-mail: eckhardt.seyfert@geobasis-bb.de

Erscheinungsweise: 7 Hefte pro Jahrgang.

Bezugspreis im Abonnement: € 122,- pro Jahrgang. Mitglieder der DGPF erhalten die Zeitschrift kostenlos.

Anzeigenverwaltung: Dr. E. Nägele, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Johannesstraße 3A, D-70176 Stuttgart, Tel.: 0711/35 14 56-0; Fax: 0711/35 14 56-99. e-mail: mail@schweizerbart.de, Internet: <http://www.schweizerbart.de>

Bernhard Harzer Verlag GmbH, Westmarkstraße 59/59a, D-76227 Karlsruhe, Tel.: 0721/944020, Fax: 0721/9440230, e-mail: info@harzer.de, Internet: www.harzer.de

Printed in Germany by Tutte Druckerei GmbH, D-94121 Salzweg bei Passau

PFG – Jahrgang 2006, Heft 2

Inhaltsverzeichnis

Originalbeiträge

MAAS, H.-G., DIETRICH, R., SCHWALBE, E., BÄBLER, M. & WESTFELD, P.: Analyse des Bewegungsverhaltens des Jakobshavn Isbræ Gletschers in Grönland durch monokulare Bildsequenzanalyse	93
THEILEN-WILLIGE, B: Remote Sensing and GIS Contribution to Tsunami Risk Sites Detection in Southern Italy.....	103
ROATSCH, TH., WÄHLISCH, M., SCHOLTEN, F., HOFFMEISTER, A., MATZ, K.-D., DENK, T., NEUKUM, G., THOMAS, P., HELFENSTEIN, P. & PORCO, C.: Kartierung der Saturn-Eismonde: Erste Ergebnisse der amerikanisch/europäischen Cassini/Huygens Mission	115
WANG, Y., WEINACKER, H. & KOCH, B.: Automatic non-ground Objects Extraction based on Multi-Returned LIDAR data.....	127
MAYER, H.: Cooperative Disparity Estimation and its Improvement.....	139

Berichte

Berichte

42. AgA-Tagung, 12./13. 9. 2005 in Wien	153
10. ICCV Conference, 15.–21. 10. 2005 in Peking	154
Mitteilungen der DGPF – Nachwuchsförderpreis 2006	155
– GIS-Ausbildungstagung 2006	155

Hochschulnachrichten

Universität der Bundeswehr München, A. Forberg	156
Universität Zürich, G. Schaepman-Strub	157
Technische Universität Wien, V. Dencheva	158
Universität Rostock, N.X. Thinh	159
ITC Enschede, MSc Course	159
Intergraph GIS-Software	159
Vorankündigungen	160

Buchbesprechungen

B. Guhse	165
GI Geoinformatik	166
T. Brinkhoff	167

Zum Titelbild	168
---------------------	-----

Mitteilungen der DGPF – PFG: Zusammenfassungen/Summaries in der homepage	168
– Anschriftenänderung	168

Zusammenfassungen der Originalbeiträge (deutsch und englisch) sind auch verfügbar unter <http://www.dgpf.de/Texten/pfgvor.html>

Analyse des Bewegungsverhaltens des Jakobshavn Isbræ Gletschers in Grönland durch monokulare Bildsequenzanalyse*

HANS-GERD MAAS, REINHARD DIETRICH, ELLEN SCHWALBE, MICHAEL BÄBLER & PATRICK WESTFELD, Dresden

Keywords: Image sequence analysis, tracking, glaciology

Zusammenfassung: Der Jakobshavn Isbræ an der Westküste Grönlands ist einer der schnellsten und produktivsten Gletscher der Welt. Er wies über einen langen Zeitraum eine etwa konstante Bewegung von 20 Metern pro Tag auf und produziert jährlich Eisberge im Gesamtvolumen von ca. 30–40 km³. Aktuell hat sich die Geschwindigkeit des Gletschers auf ca. 35–40 Meter pro Tag beschleunigt, verbunden mit einem dramatischen Rückgang der Gletscherfront. Im Sommer 2004 wurde am Isbræ eine photogrammetrische Messkampagne durchgeführt mit dem Ziel, aus terrestrischen Bildsequenzen einer hoch auflösenden Digitalkamera räumlich-zeitliche Bewegungsmuster des Gletschers zu bestimmen.

Aufgrund der Charakteristik der Gletscherbewegung ist zunächst mit einem eindimensionalen Bewegungsvektorfeld zu rechnen, welches jedoch durch gezeiteninduzierte Höhenänderungen überlagert wird. Die Bewegungskomponente quer zur Fließrichtung kann dagegen als vernachlässigbar angesehen werden. Daher wurden zur Bestimmung zweidimensionaler Bewegungsvektorfelder monokulare Bildsequenzen mit einer hoch auflösenden Stillvideokamera Kodak DCS14n aufgenommen und ausgewertet. Die Einbringung eines Maßstabes erfolgte über ein geodätisch-photogrammetrisches Netz. Aus der natürlichen Oberflächentextur des Gletschers in den Bildsequenzen wurden durch Korrelationsverfahren Bewegungsvektoren und -trajektorien bestimmt.

Bei einem aufgenommenen Gletscherausschnitt von ca. 2 km Länge kann die tägliche Bewegung von Strukturen der Gletscheroberfläche mit einer Standardabweichung in der Größenordnung von 0,1–0,2% der Länge des Bewegungsvektors bestimmt werden, wobei die Genauigkeit vor allem durch die extreme Topographie der Gletscheroberfläche und den Einfluss von Schat-

Summary: *Analysis of motion patterns of Jakobshavn Isbræ glacier (West Greenland) by monocular image sequence analysis.* Jakobshavn Isbræ at the west coast of Greenland is one of the fastest and most productive glaciers in the world. It has been moving with an average velocity of 20 meters per day over a long time, and it produces a total annual iceberg volume of 30–40 km³. In recent years a dramatic retreat of the glacier front has been observed. At the same time, a significant increase of the moving velocity to 35–40 meter per day has been reported. In summer 2004, a photogrammetric measurement campaign has been conducted at the front of Jakobshavn Isbræ with the goal of determining precise spatio-temporal velocity fields from high resolution terrestrial digital camera image sequences.

The character of the glacier movement suggests a one-dimensional motion field, possibly superimposed by tide-induced height changes. The velocity component perpendicular to the general flow direction of the glacier can be considered negligible. Therefore monocular image sequences, recorded by a high resolution still-video camera Kodak DCS14n were recorded and processed. Trajectories describing the glacier motion were determined by adapted image matching techniques based on the natural surface texture of the glacier. A scale factor for each image space trajectory was derived from a geodetic-photogrammetric network.

From these image sequences, transformed into object space, the daily motion rate of glacier surface structures could be determined at a precision of a few centimeters over a field of view of ap-

* Erweiterte und überarbeitete Fassung eines Beitrages zur DGPF-Jahrestagung 2005.

tenwurf limitiert wird. Aus der Auswertung von Bildsequenzen mit einem Zeitintervall von 30 Minuten über eine Messdauer von 12–36 Stunden ist über die lineare Fließbewegung hinaus deutlich eine Gezeitenabhängigkeit der Höhenkoordinate im vorderen Bereich des Gletschers zu erkennen. Die Resultate der terrestrischen photogrammetrischen Messungen stellen damit eine wertvolle Basis für glaziologische Untersuchungen am Jakobshavn Isbræ dar.

proximately 2 kilometers. The results obtained from processing image sequences recorded over 12–36 hours show daily motion rates of 40 meter per day and a clear correlation of the height component with the tidal curve. This indicates that the glacier front is floating on the fjord. The results of the photogrammetric measurements form a valuable basis for glaciological research of the changing behaviour of Jakobshavn Isbræ.

1 Einleitung

Der Jakobshavn Isbræ Gletscher (grönl.: Sermeq Kujalleq) ist einer der aktivsten Gletscher der Welt. Er mündet an der Westküste Grönlands über den etwa 60 km langen Kangia-Fjord in die Davis Strait (Abb. 1). Mit einer Bewegung von etwa 20 Metern pro Tag und einer Eisbergproduktion von ca. 30–40 km³ pro Jahr drainiert er einen substantiellen Anteil von ca. 7%

der jährlichen Niederschlagsmenge des grönländischen Inlandeises (ECHELMMEYER et al. 1992). Erste geodätische Messungen zur Bestimmung der Fließgeschwindigkeit des Gletschers im Bereich der Gletscherzunge wurden bereits vor mehr als 100 Jahren von (HAMMER 1893) und (ENGELL 1904) durchgeführt. In den 50er und 60er Jahren wurden aus Luftbildern im Maßstab 1:50000 Geschwindigkeitsprofile an einer Reihe von Gletschern der grönländischen Westküste

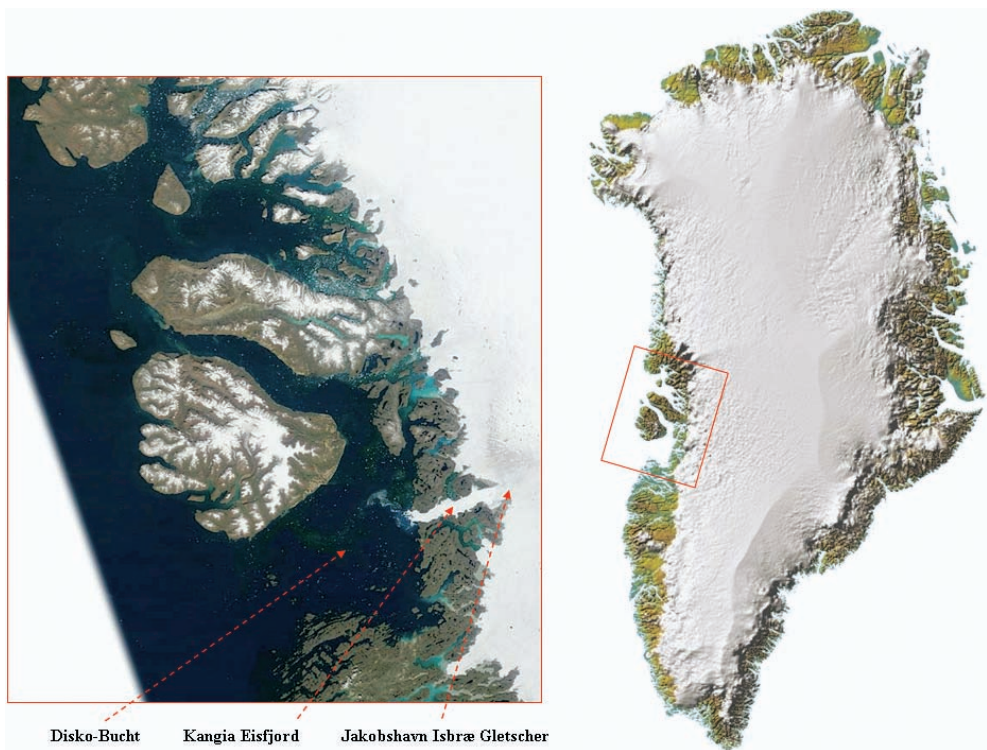


Abb. 1: Geographische Situation von Jakobshavn Isbræ Gletscher und Kangia Eisfjord.

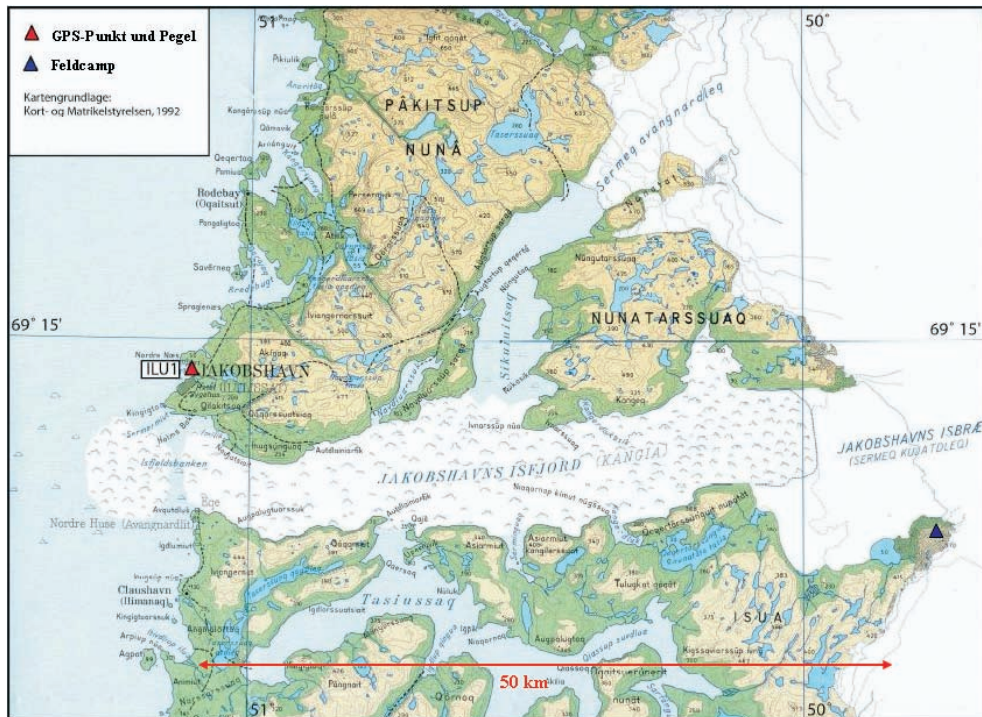


Abb. 2: Kartenausschnitt Jakobshavn Isfjord.

bestimmt (CARBONELL 1968, BAUER 1968). Die Resultate zeigen für den Jakobshavn Isbræ ein relativ gleichmäßiges Bewegungsmuster mit maximalen Bewegungen von 20–22 Metern pro Tag. Die Standardabweichung des Bewegungsvektors wird von (CARBONELL 1968) mit weniger als 1% der Länge des Bewegungsvektors angegeben.

Die Gletscherfront des Jakobshavn Isbræ und der Kangia-Fjord bilden zusammen den Ilulissat Isfjord (Abb. 2), welcher 2004 zum UNESCO-Weltnaturerbe erklärt wurde (WEIDICK et al. 2004, BENNIKE et al. 2004). Bis etwa 2000 befand sich der Gletscher in einer quasi-stabilen Periode und mündete als 10 km breiter Eisstrom in den Kangia-Fjord. Seitdem ist ein dramatischer Rückzug der Gletscherfront zu beobachten, so dass der Gletscher nun in Form zweier getrennter Eisströme aus Norden und Osten in den Kangia-Fjord mündet (Abb. 3).

Bei einer Breite des Kangia-Fjords von ca. 9–10 km am östlichen Ende beträgt der Rückzug der Gletscherfront in einem Zeit-

raum von nur drei Jahren etwa 10 km. Gleichzeitig wurde durch Flugzeug-Laserscannermessungen eine Abnahme der Dicke des Gletschers von mehr als 10 Metern pro Jahr festgestellt (THOMAS et al. 2003), und die Fließgeschwindigkeit des Gletschers erhöhte sich nach Satellitenbilddauswertungen der NASA auf ca. 35 Meter pro Tag (JOUGHIN et al. 2004).

2 Messkampagne der TU Dresden 2004

Im August 2004 führte die TU Dresden (Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Institut für Planetare Geodäsie) eine Messkampagne im Bereich der Gletscherfront des Jakobshavn Isbræ durch. Das Ziel der photogrammetrischen Messungen dieser Kampagne war die Bestimmung von räumlich-zeitlich aufgelösten Geschwindigkeitsfeldern aus terrestrischen Bildsequenzen. Diese Messungen dienten zunächst zur Verifikation aktueller Publikationen hin-

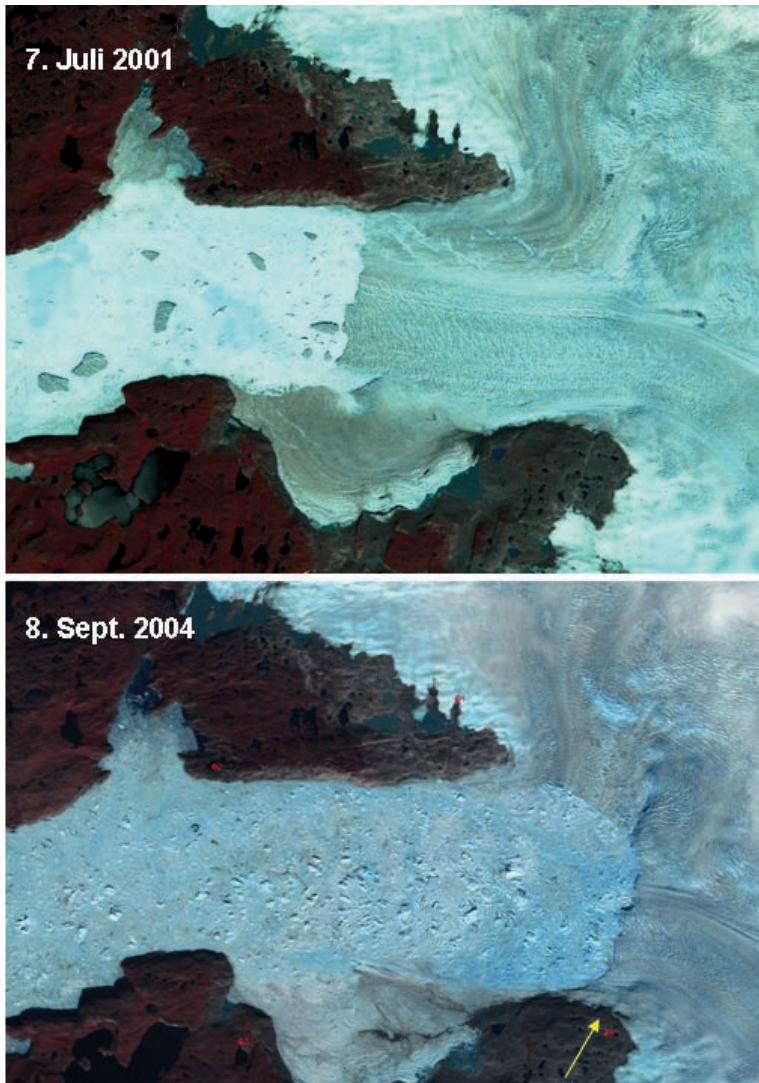


Abb. 3: Rückgang der Gletscherfront des Jakobshavn Isbræ (Landsat-Aufnahmen vom 7. 7. 2001 und 8. 9. 2004).

sichtlich der Zunahme der Fließgeschwindigkeit im Frontbereich des Jakobshavn Isbræ. Über die Bestimmung einzelner Geschwindigkeitsvektoren hinaus erlaubt die Aufnahme und Auswertung von Bildsequenzen die Bestimmung von Trajektorien und damit eine Analyse von Kurzzeitschwankungen der Geschwindigkeit des Gletschers. Diese sind vor allem zu erwarten, wenn die Gletscherzunge auf dem Fjord auf-

schwimmt. Zeitlich und räumlich aufgelöste Bewegungsfelder können somit einen Hinweis auf die Aufsetzlinie des Gletschers geben, die den Übergang zwischen dem auf dem Land aufliegenden und dem auf dem Fjord aufschwimmenden Teil des Gletschers darstellt. Darüber hinaus erlauben Aussagen über die Größe einer eventuellen Gezeiten-induzierten Variation der Fließgeschwindigkeit die Erstellung von Modellen

zur Korrektur von aus Satelliten-InSAR bestimmten Geschwindigkeitsvektoren.

Aus Gründen der Zugänglichkeit mussten die Messungen auf den südlichen, von Osten kommenden Eisstrom beschränkt werden, welcher das größere Eisvolumen transportiert. Dieser kann aus einer Entfernung von 1–3 km von Hügeln am südlichen Gletscherrand beobachtet werden (Pfeil in Abb. 3). Der nördliche Eisstrom ist in der gegenwärtigen Situation des Gletschers für terrestrische Messungen sehr schlecht zugänglich.

3 Photogrammetrische Datenakquisition

Im Rahmen einer 14-tägigen Feldkampagne wurden mehrere lange Bildsequenzen im Bereich der Gletscherfront aufgenommen. Dazu wurde eine hoch auflösende digitale Stillvideokamera Kodak DCS 14n verwendet (Abb. 4). Die Kamera weist einen 4500x3000 Pixel CMOS-Sensor mit Bayer-Farb-

muster auf und kann mit Wechselobjektiven ausgestattet werden. Durch ihren Intervallometer-Modus erlaubt sie die Aufnahme von Bildsequenzen über längere Zeiträume in vordefinierten Zeitintervallen. Mit einem Stromverbrauch von etwa 6 Watt im Standby-Modus ist dazu allerdings eine externe Stromversorgung notwendig. In der Feldkampagne wurden hierzu 24 AH Gelbatterien verwendet, die eine Messdauer von ca. 48 Stunden erlaubten.

Die Bildsequenzen decken Zeiträume von 12–36 Stunden ab. Längere Sequenzen konnten aufgrund der Wetterbedingungen und mangels regengeschützter Aufstellmöglichkeiten der Kamera zunächst nicht aufgenommen werden. Zum Nachweis der vermuteten gezeiteninduzierten Variationen der Bewegungsgeschwindigkeit sollten Bildsequenzen eine Länge von mindestens 24 Stunden aufweisen. Dank der Lage des Gletschers auf etwa 70° nördlicher Breite stand bis Mitte August auch nachts noch genügend Licht für Aufnahmen zur Verfügung.



Abb. 4: Kodak DCS 14n am Jakobshavn Isbræ.



Abb. 5: Messaufnahme am Jacobshavn Isbræ.



Abb. 6: Ausschnitt aus Abb. 5.

Zur Gewährleistung einer ausreichenden zeitlichen Auflösung wurde der Intervallometer auf 30 Minuten eingestellt. Bewegungen der Kamera, verursacht durch Windefekte, Einsinken und Aufwärmung der Stativbeine sowie Instabilitäten des Untergrunds wurden durch die Messung der Bildkoordinaten von vier ortsstabilen Zielmarken im Vordergrund des Bildes kompensiert (Abb. 6). Je nach verwendeter Objektivbrennweite betragen diese Bildbewegungen bis zu 10 Pixel.

Die Aufnahme beschränkte sich auf monokulare Bildsequenzen. Eine stereoskopische Aufnahme erscheint aufgrund der durch die extrem zerklüftete Struktur der Gletscheroberfläche (Abb. 6) und wandernde Schatten verursachten starken Dekorrelation der Inhalte stereoskopischer Bilder und auch aufgrund der lokalen Geographie wenig Erfolg versprechend. Die Dynamik der Gletscherbewegung lässt allerdings keine signifikanten Bewegungen quer zur Fließrichtung erwarten, so dass eine senk-

recht zur Fließrichtung orientierte Kamera für die Aufnahme ausreichend ist.

Zur Skalierung der im Bildraum gemessenen Geschwindigkeitsinformation ist bei der monokularen Auswertung dennoch Tiefeninformation zur Bestimmung des lokalen Bildmaßstabes notwendig. Zu dem Zweck wurden durch ein geodätisches Netz auf der Basis von GPS-Messungen und tachymetrischen Vorwärtsschnitten Passpunkte auf dem Gletscher generiert, welche zur Lagerung eines zusätzlich zur eigentlichen Bildsequenz aufgenommenen photogrammetrischen Bildverbandes aus sechs Aufnahmen diente. Dadurch wird es möglich, durch eine grobe Differentialverzerrung über aus dem Bildverband ermittelte 3D-Koordinaten einen individuellen Maßstab für jede Trajektorie zu bestimmen.

4 Datenverarbeitung

Abb. 5 zeigt ein Einzelbild einer 24-Stunden Sequenz, aufgenommen mit einem 50 mm Objektiv. In den monokularen Bildsequenzen können durch Kreuzkorrelation oder Least-Squares-Matching an vorgegebenen oder auf einem regelmäßigen Raster definierten Stellen Muster verfolgt werden (Abb. 7). Dabei erwies sich die extrem zerklüftete Oberfläche des Gletschers in Kombination mit einem aufgrund des Sonnenanges um beinahe 360° stark variierenden Schattenwurf teilweise als problematisch. Zusätzliche Irregularitäten wurden durch Schatten durchziehender Wolkenfelder verursacht. Diese Effekte bewirken an vielen Stellen eine starke Dekorrelation identischer Bildausschnitte aufeinander folgender Zeitpunkte, welche eine signifikante Verfälschung der Ergebnisse der Punktzuordnung bewirken kann. Eine strenge Modellierung der Effekte würde ein Oberflächenmodell des Gletschers voraussetzen, was allenfalls – unter erheblichem Aufwand – aus zeitgleich aufgenommenen Flugzeug-Laser-scannerdaten sehr hoher Punktdichte generiert werden könnte. Da solche Daten nicht zur Verfügung stehen, können die Effekte nur durch zusätzliche Bedingungen bei der Kreuzkorrelation, die Wahl großer Korrela-

tionsfenster sowie eine nachträgliche Filterung der Trajektorien reduziert werden. In den hier vorgestellten ersten Auswertungen wurden Korrelationsfenster von 40×40 Pixel mit einem vorwärts orientierten und durch Prädiktion beschränkten Suchbereich verwendet. Die daraus erhaltenen Trajektorien wurden um die aus der Beobachtung der Zielmarken im Bild ermittelten Kamerabewegung korrigiert und anschließend gefiltert. Trajektorien mit nicht plausiblen Sprüngen wurden dabei gelöscht. Auch mit diesen Zusatzmaßnahmen war in der Regel nur eine Verfolgung zwischen aufeinander folgenden Bildern möglich. Eine aus Sicht der Fehlerfortpflanzung wünschenswerte Zuordnung aus dem ersten Bild in alle weiteren Bilder scheiterte in den meisten Fällen. Die Standardabweichung der Verschiebungsparameter der Bild-zu-Bild-Zuordnung liegt meist unter 0,1 Pixel (WESTFELD 2005). Optional kann eine durch die Bild-zu-Bild-Zuordnung verursachte Drift der Trajektorie durch eine zusätzliche Bildzuordnung zwischen zwei Aufnahmen mit 24 Stunden Zeitabstand korrigiert werden.

Ähnliche Probleme bei der Bestimmung korrespondierender Punkte in multi-temporalen Aufnahmen des Jakobshavn Isbrae berichtet auch (CARBONELL 1968) für die interaktive Auswertung von analogen Luftbildern, welche mit einem Zeitabstand von wenigen Tagen aufgenommen wurden.

Zur Bestimmung räumlich-zeitlicher Geschwindigkeitsfelder aus den monokularen Bildsequenzen wurden im ersten Bild der Sequenz ca. 1500 Punkte auf einem regelmäßigen Gitter über einen vorgegebenen Bereich ausgewählt und dann durch die gesam-

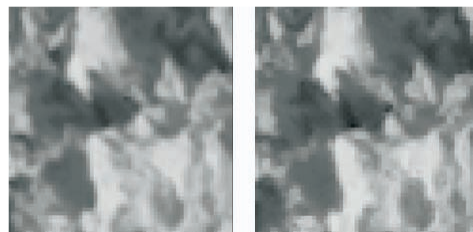


Abb. 7: 40×40 Pixel Ausschnitte in aufeinander folgenden Bildern.

te Sequenz verfolgt. Die Umsetzung der Skalierung der im Bildraum bestimmten Trajektorien in den Objektraum erwies sich als aufwendig: Zwar steht aus dem geodätisch-photogrammetrischen Netz die Information für eine 3D-Koordinatenbestimmung der Trajektorienanfangspunkte zur Verfügung, doch scheitert eine automatische Skalierung zunächst an der Unmöglichkeit der zuverlässigen automatischen Detektion homologer Punkte in den Aufnahmen des photogrammetrischen Bildverbandes. Um die Skalierung dennoch automatisch durchführen zu können, wurde für jede der elf Linien des Gitters der Trajektorien-Anfangspunkte interaktiv aus dem zugehörigen Bildverband eine Tiefenkoordinate bestimmt, woraus sich unter Annahme einer großskalig gleichmäßigen Gletschertopographie Skalierungsfaktoren für alle Punkte der Linie bestimmen lassen.

5 Resultate

Die Ergebnisse der Datenverarbeitung zeigen trotz der vorher genannten Erschwernisse einer automatischen Musterverfolgung die erwarteten glaziologischen Phänomene. Die Trajektorien einer zunächst ausgewerteten 24-Stunden Sequenz vom 20. August 2004 zeigen eine sehr gleichmäßige Bewegung des Gletschers in Fließrichtung. Punkte im Vordergrund der Bildsequenz bewegen sich um etwa 130 Pixel pro Tag, was einer Geschwindigkeit von nahezu 40 Metern pro Tag und damit einer Verdopplung gegenüber früheren Messungen entspricht. Dieser Trend wird auch durch Satellitenradarbilddauswertungen der NASA bestätigt, welche für 2003 eine Geschwindigkeit von 35 Meter pro Tag zeigen (JOUGHIN et al. 2004). Die Analyse der Vertikalkomponente der Bewegung zeigt eine eindeutig erkennbare zeitliche Variabilität: Abb. 8 zeigt die Höhenkomponente eines Glet-

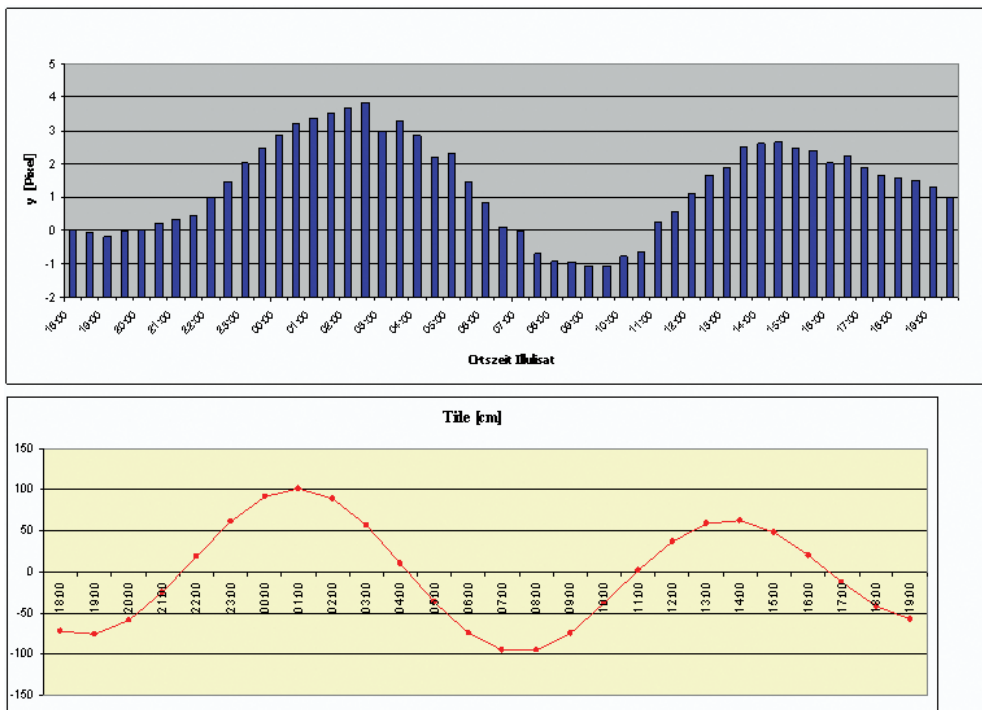


Abb. 8: Bewegung eines Gletscherpunkts über 24 Stunden (oben), zugehörige berechnete Gezeitenkurve für den Pegel Ilulissat.

scherpunktes nahe der Gletscherfront in 30-Minuten Schritten über 24 Stunden. Darin sind zwei Maxima und Minima gut erkennbar. Die Extremwerte der Höhenkomponente der Trajektorie weisen eine eindeutige Korrelation mit der berechneten Gezeitenkurve für den Pegel Ilulissat (früher Jakobshavn, ca. 50 km westlich an der Mündung des Kangia-Fjords in die Disko Bucht) auf.

Der Hub der Höhenkoordinate der gezeigten Gletscherpunkttrajektorie, korrigiert um den Trend der Abwärtsbewegung über 24 Stunden, beträgt 5 Pixel, was etwa 1,50 Meter im Objektraum entspricht. Damit ergibt sich gegenüber dem gerechneten Pegel eine leichte Dämpfung der Vertikalbewegung, welche eismechanisch erklärt werden kann. Gleichzeitig ergibt sich eine Verzögerung der Gletscherpunkttrajektorie um etwa eine Stunde gegenüber der Gezeitenkurve. Andere Punkte im Bereich der Gletscherfront bestätigen diese Beobachtungen (Abb. 9). Der vertikale Hub der Trajektorien nimmt in östlicher Richtung – von der Gletscherfront weg – ab. Dies beweist, dass der Gletscher im vorderen Bereich auf dem Kangia-Fjord aufschwimmt, und widerlegt eine entgegengesetzt lautende These, die von BAUER 1968 – trotz einer zu dem Zeitpunkt deutlich weiter in den Fjord reichenden Gletscherzunge – aufgestellt wurde.

6 Ausblick

Die Auswertung terrestrischer Bildsequenzen hoch auflösender Digitalkameras kann einen wertvollen Beitrag zur glaziologischen Forschung an schnellen arktischen oder antarktischen Gletschern liefern. Vorteile des Verfahrens liegen in der flexiblen und kostengünstigen Datenakquisition und der hohen zeitlichen Auflösung über kurze Zeiträume bei gleichzeitig erzielbarer räumlicher Auflösung. Ein offensichtlicher Nachteil terrestrischer Aufnahmeverfahren ist die limitierte Sicht sowie die eingeschränkte Eignung für Langzeituntersuchungen. Somit stellt die terrestrische Photogrammetrie hier vor allem eine wertvolle Ergänzung luftbild- oder satellitenbildgestützter Aufnahmen dar.

Die automatische Auswertung der Aufnahmen erwies sich aufgrund stark variierender Beleuchtungsbedingungen als teilweise schwierig und bedingt eine vorsichtige Handhabung von Werkzeugen der Bildanalyse und eine Filterung der Resultate. Die erzielten Resultate zeigen eindeutig die erwarteten Gezeiten induzierten Höhenänderungen von Gletscherpunkten im Bereich der Gletscherfront.

Für zukünftige Kampagnen erscheinen eine Reihe von Verbesserungen bzw. Erweiterungen des Verfahrens sinnvoll: Zur Er-

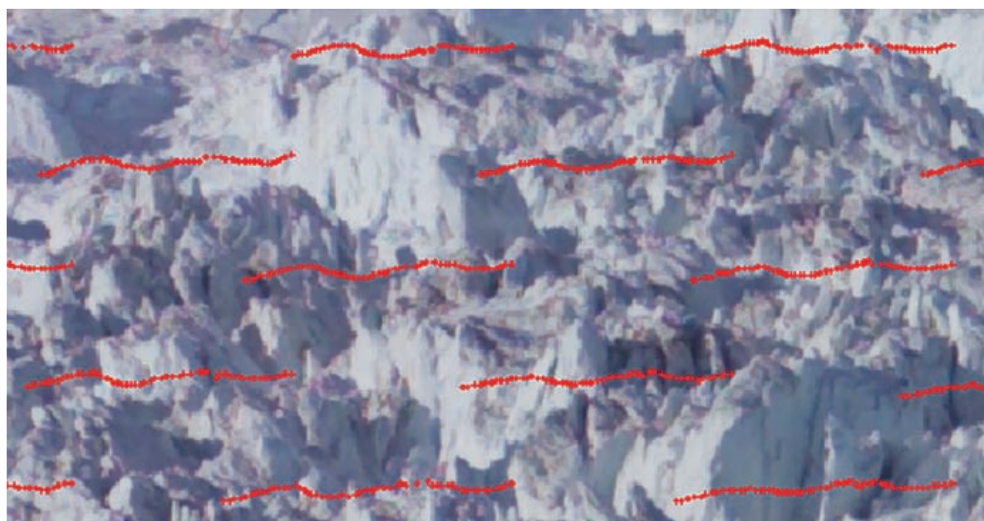


Abb. 9: 2D-Trajektorien eines Ausschnittes aus Abb. 5.

zielung längerer Bildsequenzen sollte eine wettergeschützte Aufstellung der Kamera vorgesehen werden. Eine weitere Verbesserung der Auswerteprozedur ist durch die Integration von Werkzeugen der robusten Schätzung in die zur Musterverfolgung angewandten Bildanalyseverfahren zu erwarten. Schließlich erscheint – derzeit allerdings limitiert auf Aufnahmeentfernungen bis maximal ca. 500–1000 Meter – die Verwendung terrestrischer Laserscanner als eine interessante Alternative zur Aufnahme durch Kameras. Laserscanner sind unabhängig von der Bildtextur der aufgenommenen Oberfläche und daher frei von Anfälligkeiten gegenüber Beleuchtungsbedingungen und Schattenwurf. Gleichzeitig liefern sie als polares Messverfahren dreidimensionale Koordinaten und erlauben damit die Bestimmung aller drei Komponenten des Bewegungsfeldes ohne die Notwendigkeit zusätzlicher Messungen zur Bestimmung der Skalierung der Trajektorien.

Danksagung

Die Arbeiten am Jakobshavn Isbræ sowie die Auswertung der Daten wurden durch die DFG unterstützt.

Literatur

- BAUER, A., 1968: Missions Aériennes de reconnaissance au Groenland 1957–1958. – Meddeleser om Grønland, Kommissionen for videnskabelige Undersøgelser i Grønland, Vol. 173, Nr. 3.
- BENNIKE, O., MIKKELSEN, N., PEDERSEN, H. & WEIDICK, A., 2004: Ilulissat Isfjord – a world heritage site. – GEUS, Kopenhagen, ISBN 87–7871–136–3.
- CARBONELL, M. & BAUER, A., 1968: Exploitation des couvertures photographiques aériennes répétées du front des glaciers vélant dans Disko Bugt et Umanak Fjord, juin–juillet 1964. – Meddeleser om Grønland, Kommissionen for videnskabelige Undersøgelser i Grønland, Vol. 173, Nr. 5.
- ECHELMEYER, K., HARRISON, W., CLARKE, T. & BENSON, C., 1992: Surficial glaciology of Jakobshavn Isbræ, West Greenland: Part II. Ablation, accumulation and temperature. – *Journal of Glaciology*, Vol. **38**: 169–181.
- ENGELL, M., 1904: Undersøgelser og Opmaalinger ved Jakobshavn Isfjord og i Orpigsuit I Sommersen 1902. – Meddeleser om Grønland, Kommissionen for Ledelsen af de geologiske og geografiske Undersøgelser i Grønland, Vol. 4.
- HAMMER, R., 1893: Undersøgelser ved Jakobshavn Isfjord og nærmeste Omegn i Vinteren 1879–1880. – Meddeleser om Grønland, Kommissionen for Ledelsen af de geologiske og geografiske Undersøgelser i Grønland, Vol. 26.
- JOUGHIN, I., ABDALATI, J. & FAHNESTOCK, M., 2004: Large fluctuations in speed on Greenland's Jakobshavn Isbræ glacier. – *Nature* **432**: 608–610.
- THOMAS, R., ABDALATI, W., FREDERICK, E., KRABILL, W., MANIZADE, S. & STEFFEN, K., 2003: Investigation of surface melting and dynamic thinning on Jakobshavn Isbræ, Greenland. – *Journal of Glaciology* **49**: 231–239.
- WEIDICK, A., MIKKELSEN, N., MAYER, CHR. & PODLECH, S., 2004: Jakobshavn Isbræ, West Greenland: The 2002–2003 collapse and nomination for the UNESCO World Heritage List. – *Geological Survey of Denmark and Greenland, Bulletin* **4**: 85–88.
- WESTFELD, P., 2005: Entwicklung von Verfahren zur räumlich und zeitlich aufgelösten 2D-Bewegungsanalyse in der Glaziologie. – Diplomarbeit IPF TU Dresden.

Anschriften der Autoren:

Prof. Dr. habil. HANS-GERD MAAS
 hans-gerd.maas@tu-dresden.de
 Dipl.-Ing. ELLEN SCHWALBE
 ellen.schwalbe@tu-dresden.de
 Dipl.-Ing. PATRICK WESTFELD
 patrick.westfeld@mailbox.tu-dresden.de
 TU Dresden, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, 01062 Dresden
 Prof. Dr.-Ing. habil. REINHARD DIETRICH
 dietrich@ipg.geo.tu-dresden.de
 Dipl.-Ing. MICHAEL BÄBLER
 baessler@ipg.geo.tu-dresden.de
 TU Dresden, Institut für Planetare Geodäsie, 01062 Dresden

Manuskript eingereicht: September 2005
 Angenommen: November 2005

Remote Sensing and GIS Contribution to Tsunami Risk Sites Detection in Southern Italy

BARBARA THEILEN-WILLIGE, Stockach

Keywords: remote sensing, tsunami risk site detection, GIS, SRTM based maps products, terrain analysis

Summary: Based on LANDSAT ETM and Digital Elevation Model (DEM) data derived by the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) of the coastal areas of Southern Italy were investigated in order to detect traces of earlier tsunami events. Digital image processing methods used to produce hillshade, slope, minimum and maximum curvature maps based on the SRTM DEM data contribute to the detection of morphologic traces that might be related to catastrophic tsunami events. These maps combined with LANDSAT ETM and seismotectonic data in a GIS environment allow the delineation of areas with potential tsunami risk. The evaluations of LANDSAT ETM imageries merged with digitally processed and enhanced SRTM data clearly show areas that must have been flooded in earlier times. In some cases morphological traces of waves as curvilinear scarps open to the sea-side are clearly visible.

Kurzfassung: Fernerkundung und GIS Methoden bei der Erfassung Tsunami gefährdeter Gebiete in Süd-Italien. LANDSAT ETM- und Digitale Höhendaten auf der Basis der Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) von Süd-Italien wurden mit Methoden der digitalen Bildverarbeitung aufbereitet und zusammen mit seismotektonischen Daten in ein Geografisches Informationssystem (GIS) integriert. Die Auswertung der verschiedenen Bild- und Kartenprodukte auf der Basis der SRTM-DEM Daten wie simulierte Reliefdarstellungen, Hangneigungskarten, Karten der minimalen und maximalen Geländewölbungen liefern in den Küstenbereichen Süd-Italiens Hinweise auf charakteristische, morphologische Spuren, die wahrscheinlich auf die Einwirkung früherer Tsunami-Ereignisse zurückgeführt werden können. Das Bild- und Kartenmaterial ermöglicht eine Übersicht über potentiell Tsunami gefährdete Küstenbereiche in Süd-Italien.

1 Introduction

This study is considering tsunami risk mapping for areas where no severe tsunami has occurred recently, but the geomorphologic and topographic features and characteristics are similar to areas hit by recent catastrophic tsunamis as in Sumatra and where historical records of tsunamis are available and reliable. A tsunami hazard map of such an area that predicts the location of future tsunami occurrences is required. In the case of a catastrophic event it can provide rescue teams with the map of the areas where the tsunami energy is expected to be destruc-

tively large and damage is most severe. Around the Mediterranean Sea there is a high potential for generation of large tsunami waves, and in addition for the generation of tsunami waves produced in the near-shore zone that could have catastrophic effects on a local scale (BOSCHI et al. 2005). Parts of the Mediterranean coastline have suffered from disastrous marine waves many times in history. Historical earthquakes and associated tsunamis for the whole Mediterranean basin are identified from verified catalogues. In addition to historical and geologic information, or distribution of fault zones, volcanoes, and other

probable tsunamigenic sea bottom structures, there are numerous source areas which may be considered responsible for severe tsunami waves. One of the important source areas of tsunamis in the Mediterranean are the normal fault zones of Southern Italy and the subduction in the Tyrrhenian sea. During the last centuries the largest tsunamigenic earthquakes that hit the Italian peninsula occurred in Calabria and Sicily (TINTI & PIATANESI 2001). The tsunamis caused severe damage and flooded low lands in many segments of the coast. The Calabrian arc and eastern Sicily are currently affected by large earthquakes and by an intense volcanic activity. The main regional feature in this area is given by a prominent normal fault belt that runs more or less continuously for a total length of about 370 km along the inner side of the Calabrian arc, extending through the Strait of Messina along the Ionian coast of Sicily. The different fault segments are responsible for the large earthquakes that have occurred in this region as the seismic sequences of 1783 in Southern Calabria and of 1693 in the Eastern Sicily, and the 1905 (Monteleone) and 1908 (Messina) earthquakes. The most recent and well known tsunami occurred during the 1908 Messina earthquake that has been related to a rupture along the west facing Reggio fault that partially extends off-shore south of Reggio Calabria. This event was characterized by waves that reached the maximum heights of 13 meters in the Calabrian side of the Straits of Messina, inundating large portions of the eastern Sicily coast (MONACO & TORTORCI 2005). Geomorphological research reveals that the Apulian coast has been affected by the destructive action of tsunamis several times in history. Along low sloping rocky coasts of southern Apulia large boulders accumulations have been found. Boulders are arranged either isolated, in small groups or rows composed of a few imbricated elements. The collated data suggest that two tsunamis may have recently struck the Adriatic coast of southern Apulia. The first possibly took place on the Dalmatian coast as a result of the earthquake on April, 6,

1667 which destroyed Ragusa (Dubrovnik). The second tsunami event is connected to the strong earthquake which hit southern Apulia on February, 20, 1743 (MASONUZZI & SANSONO 2005).

2 Approach

This contribution considers the support provided by remote sensing data and a GIS based spatial databases for the delineation of potential risk sites in Southern Italy. On a regional scale the areas of potential tsunami risk will be determined by an integration of remote sensing data, geologic, seismotectonic and topographic data and data of historical tsunami events (Fig. 1a). LANDSAT ETM and DEM data were used for generating an image based GIS and combined with ESRI data and other thematic maps, see Fig.1b. These include an inventory of seismic records, large-scale geomorphologic analysis, digital elevation data and suitable high-resolution remote sensing data. As one of the procedures to generate a tsunami hazard map a comparison between the geomorphologic/topographic settings of the areas previously hit by tragic tsunamis in recent times (as in Sumatra) and the potential risk sites in Southern Italy is proposed. There are typical geomorphologic features found in regions prone to catastrophic tsunami events as fan shaped flat areas, fan-shape like arranged drainage patterns, arc-shaped (seawards opened) walls and scarps, often running parallel to the coast. Remnants of tsunami floods are irregular swamps, ponds and lagoons near the coast. The evaluation of digital topographic data is of great importance as it contributes to the detection of the specific geomorphologic/topographic settings of tsunami prone areas. For the objectives of this study the following digital elevation data have been evaluated: Shuttle Radar Topography Mission – SRTM, 90 m resolution data provided by the University of Maryland, Global Land Cover Facility (<http://glcfapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/>) and GTOPO30 data provided by USGS (<http://www.diva-gis.org/Data.htm>, 1 km

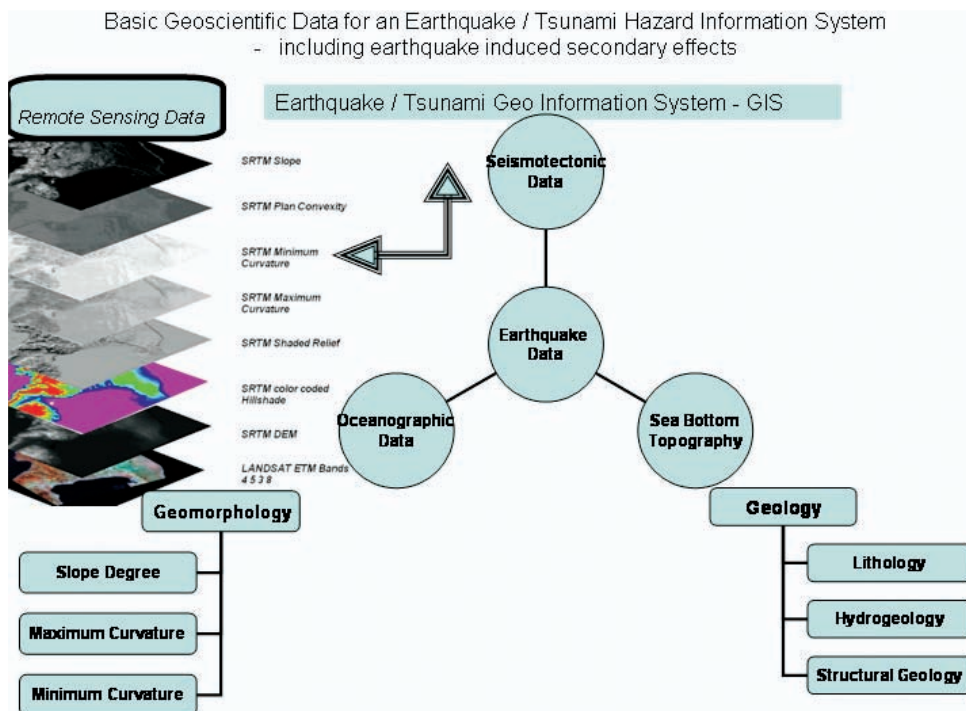


Fig. 1a: Main components of a Tsunami Hazard Information System.

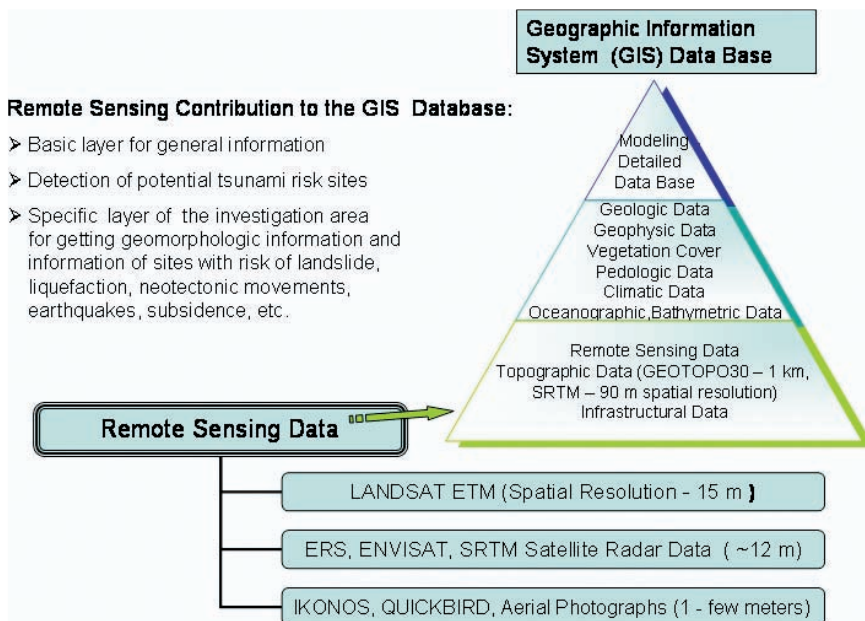


Fig. 1b: Remote Sensing contribution to a Tsunami Hazard Information System.

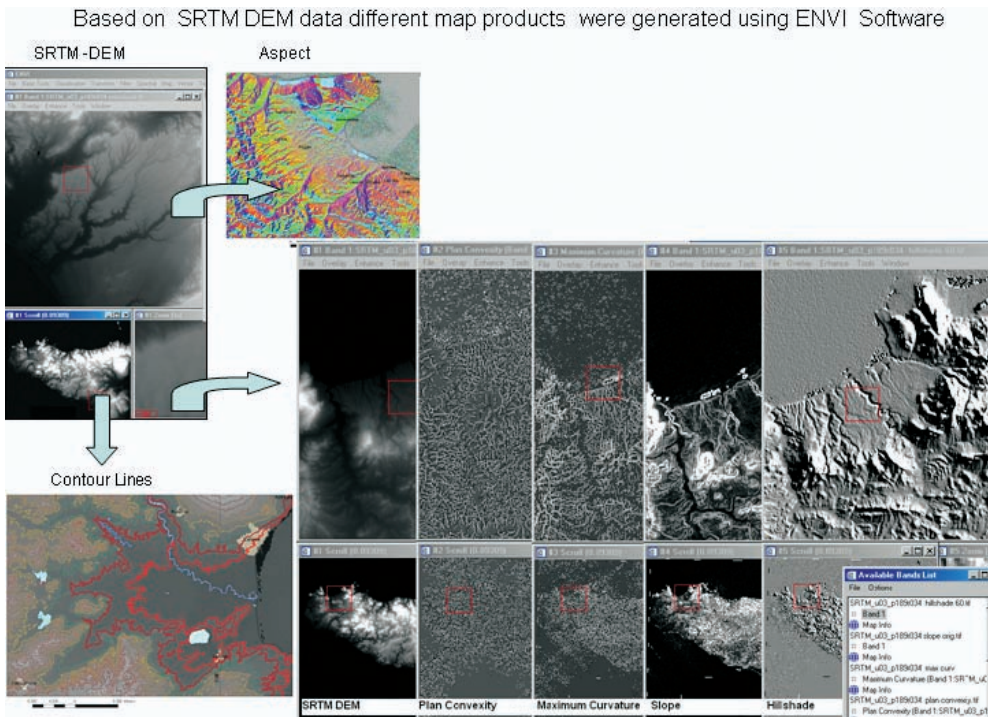


Fig. 2: SRTM based maps.

resolution) were used as base maps. One of the limitations of the models and processing, however, was the scale of analysis implied by the SRTM – DEM resolution of 90 m. The digital topographic data were merged and overlain with LANDSAT ETM data (Band 8: 15 m resolution). For enhancing the LANDSAT ETM data digital image processing procedures have been carried out. Various image tools delivered by ENVI Software/CREASO were tested, for example to find the best suited contrast stretching parameters. Other geodata as provided by ESRI Web GIS were included, so earthquake data or bathymetric maps. With digital image processing techniques maps can be generated to meet specific requirements considering risk mapping. For getting a geomorphologic overview SRTM data terrain parameters were extracted from a DEM as shaded relief, aspect and slope degree, minimum and maximum curvature or plan convexity maps using ENVI and ArcMap software (Fig. 2).

The various data sets as LANDSAT ETM data, topographic, geological and geophysical data from the studied areas were integrated as layers into GIS using the software ArcView GIS 3.3 with the extensions Spatial Analyst and 3D-Analyst and ArcGIS 9.0 of ESRI (Fig. 3). As a complementary tool Google Earth Software was used in order to benefit from the 3D imageries of the various investigation areas (<http://earth.google.com/>).

3 Evaluation of SRTM and LANDSAT ETM Data from Southern Italy

Potential risk sites for hazardous tsunami waves were identified by analyzing areas in Southern Italy showing heights below 20 m above sea level. The areas were studied then more detailed. As first example the Bay of Manfredonia is presented. Fig. 4–8 show the results of SRTM data based map products.

Remote Sensing and DEM derived Maps as Layers in a GIS Data Base

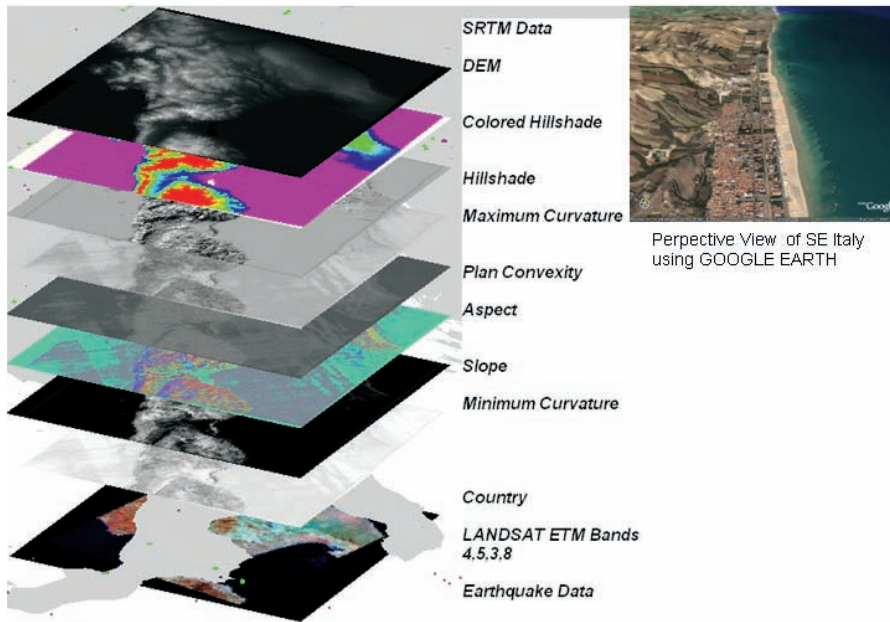


Fig. 3: Layers in a GIS.

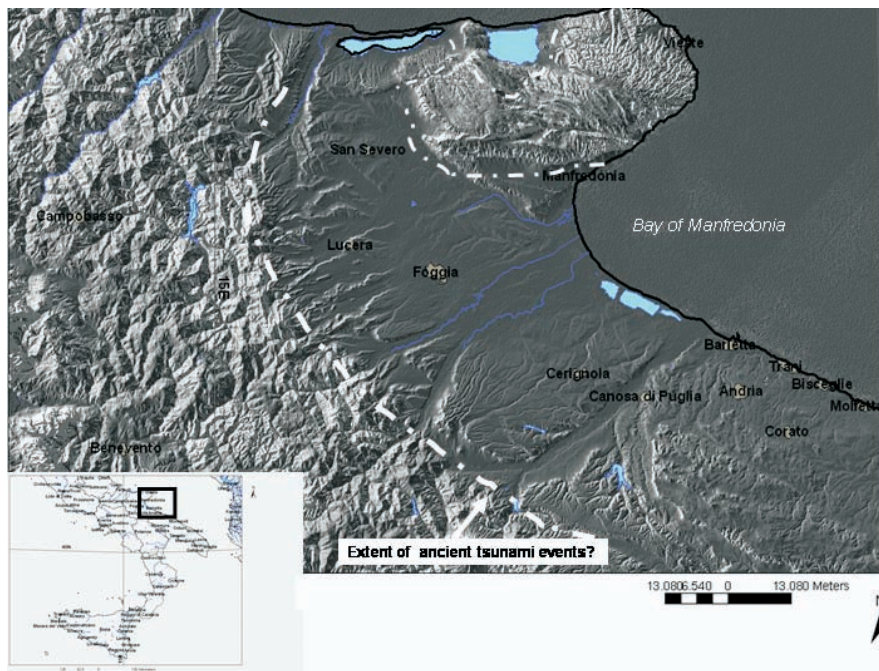


Fig. 4: SRTM based shaded relief and slope map of the Bay of Manfredonia area. The dashed line illustrates the area estimated as flooded by probably catastrophic tsunami events according to the geomorphologic properties of the area.

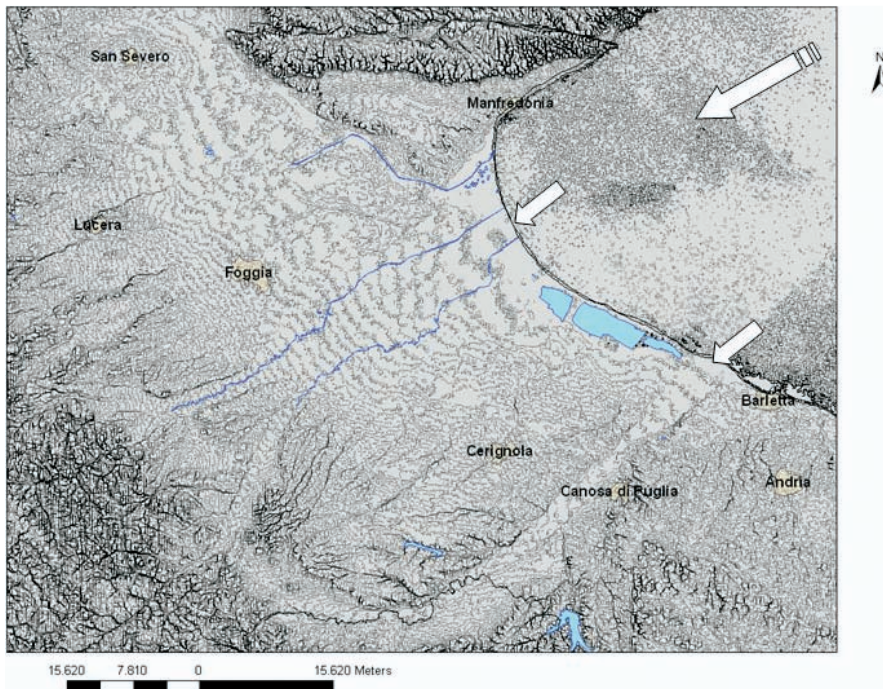


Fig. 5: SRTM based Minimum Curvature map of the Manfredonia Bay. The map shows traces of walls and ridges related to flood waves as their arc shaped contours are opened to the sea.

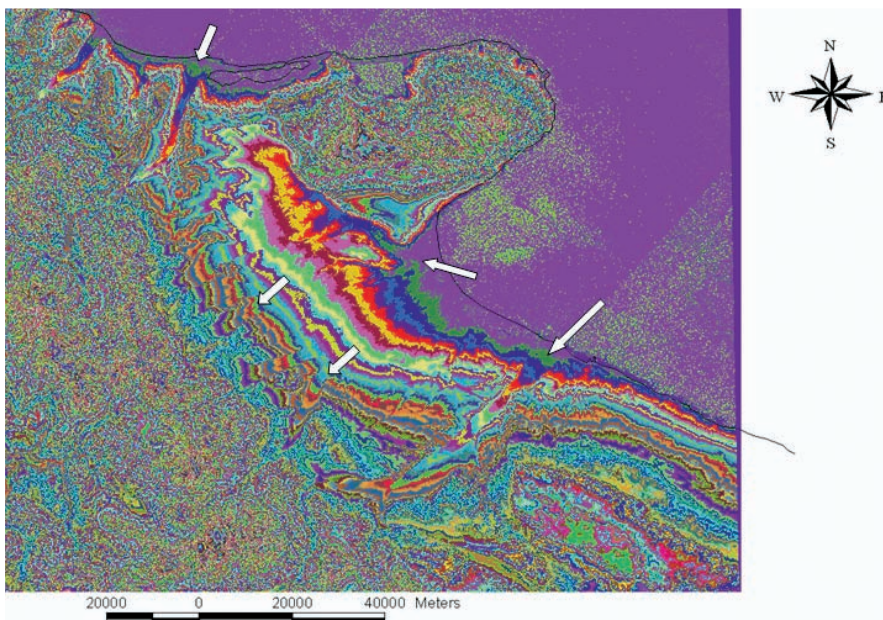


Fig. 6: Color coded SRTM DEM of the Bay of Manfredonia. Tsunami waves obviously “intruded” along existing river beds. Therefore run up and inundation distance of the floods along riverbeds was probably more extended than in the adjacent areas.

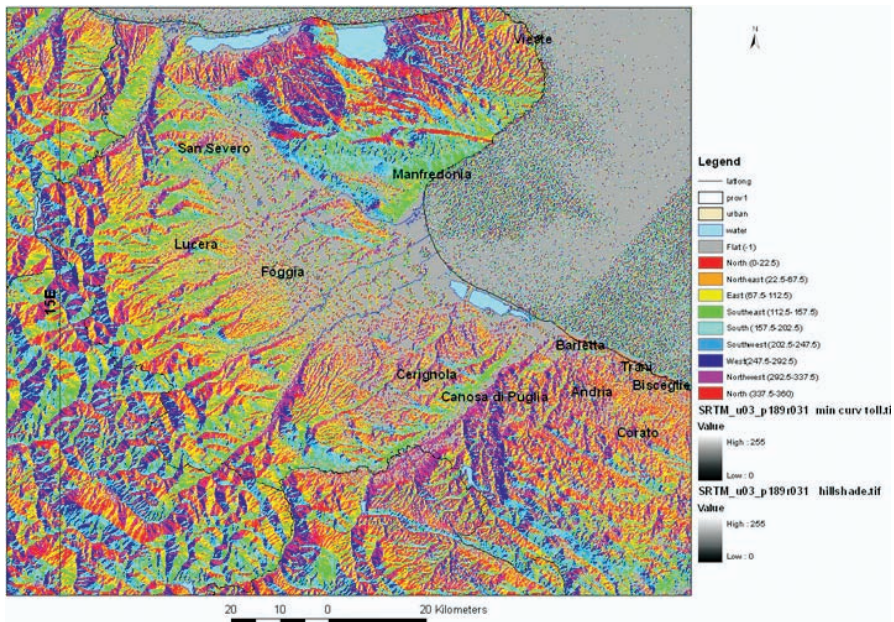


Fig. 7: Aspect Map merged with the hillshade map based on SRTM data from the Bay of Manfredonia illustrating the seawards orientation of the fan-shaped terrain.



Fig. 8: Perspective 3D view based on LANDSAT ETM imageries of the Bay of Manfredonia using Google Earth.

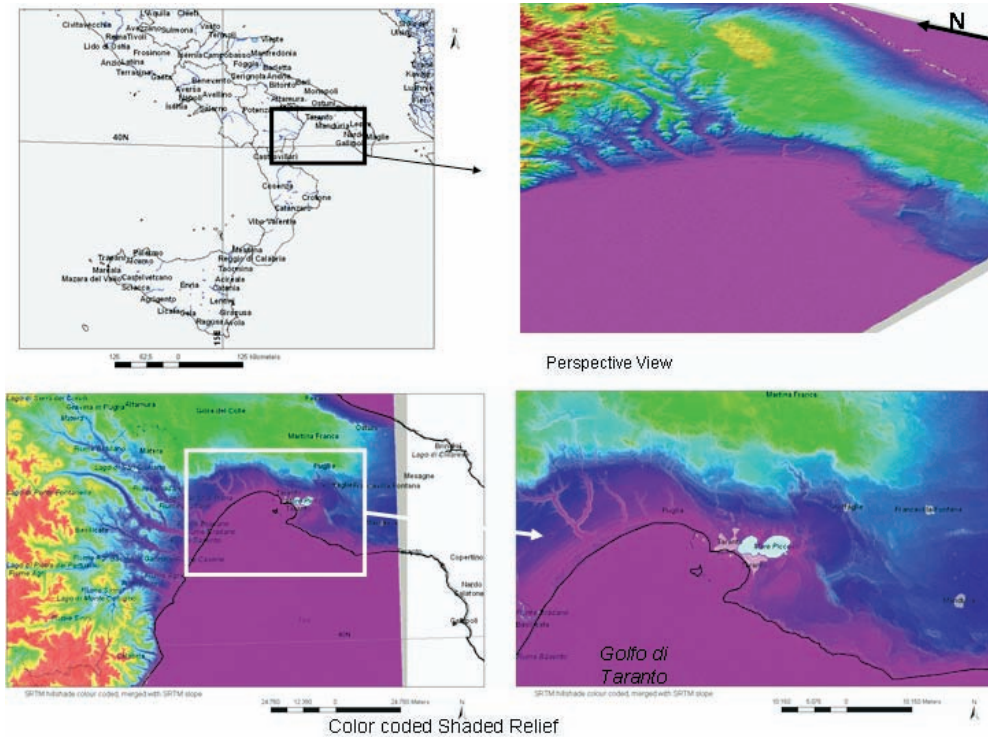


Fig. 9: Color coded Shaded Relief (SRTM) imagery of the Bay of Taranto showing areas prone to flooding risk in violet colors.

Provided that the morphologic properties of the Manfredonia bay are related to tsunami events it can be assumed that the fan-shaped morphology is the result of abrasion due to catastrophic tsunamis. The tsunami floods obviously propagated from east. According to the characteristic morphologic properties visible on the hillshade, the aspect, minimum curvature and slope map the run-up heights along the east-facing, flat shorelines are estimated at least of about ± 20 km. Submarine mass movements as slumps, turbidity currents and landslides presumably triggered by earthquakes might be an explanation for the intensity of waves and floods forming the coast-near landscape in the Bay of Manfredonia.

Potential traces of flood waves as parallel, arc-shaped walls can be inferred by minimum curvature maps as presented in Fig. 5 as well as by color coding the DEM map (Fig. 6).

Potential traces of run-up can be detected considering the parallel curvatures, especially in broader river beds. Estuary plains and broader river beds were probably prone more to tsunami wave propagation than the higher environment. River mouths represented a large entrance for tsunami waves. This assumption is confirmed by the color coded DEM (Fig. 6). The map clearly shows the different levels formed by floods. The aspect map illustrates the seawards orientation of the terrain and enhances as well smaller walls, ridges and terraces with seawards opened, arc-shaped contours (Fig. 7). Fig. 8 presents a perspective view based on a LANDSAT ETM imagery combined with DEM data (Google Earth) to demonstrate that the SRTM based maps provide information of the terrain that are not visible on LANDSAT imageries.

The next example illustrates the potential of SRTM and LANDSAT data for enhancing

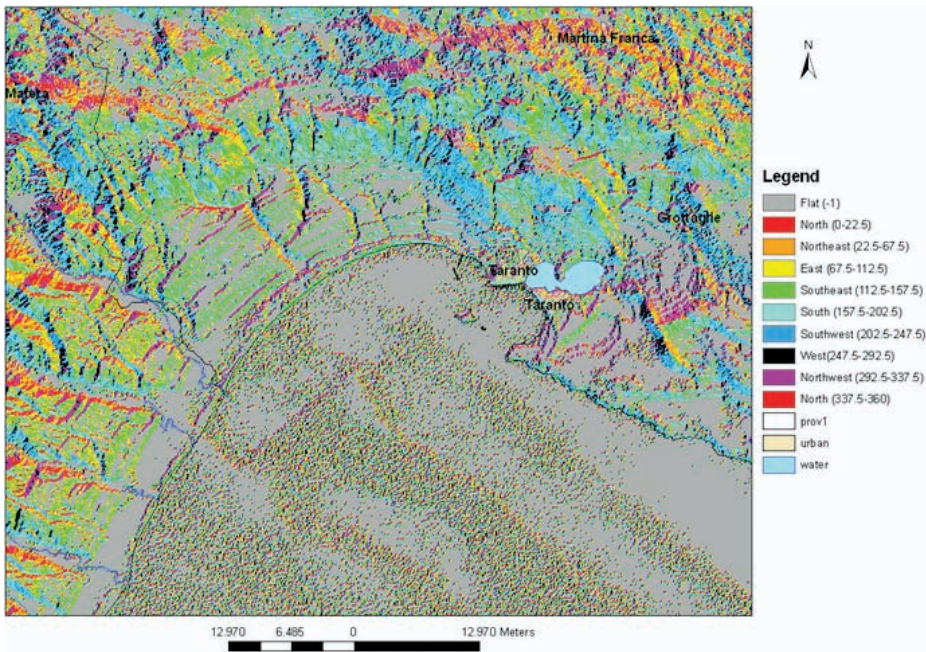


Fig. 10: SRTM based Aspect Map of the Eastern Bay of Taranto.

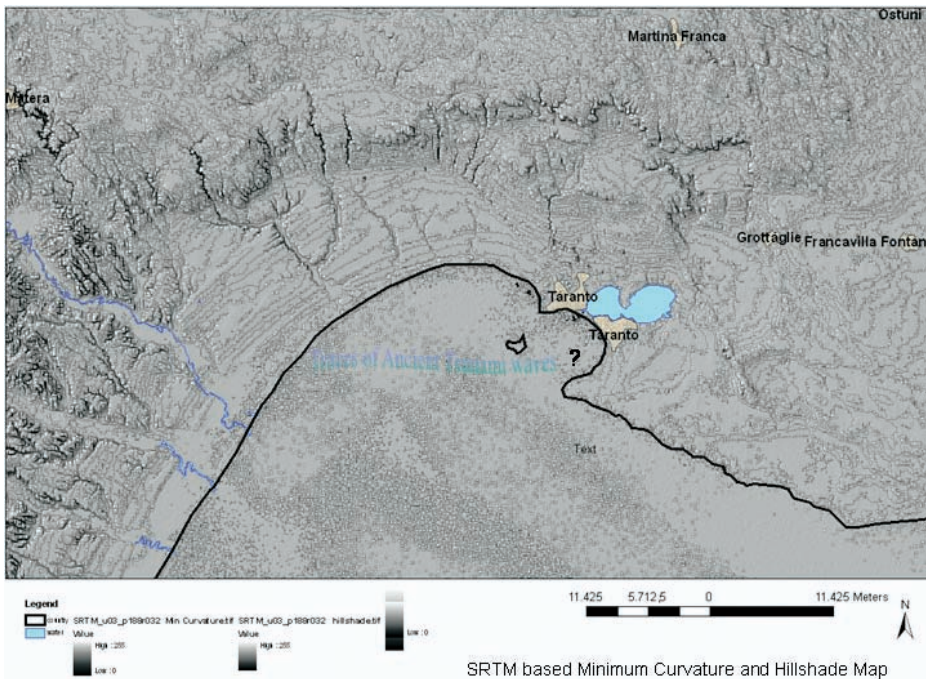


Fig. 11: Traces of flood waves in the Eastern Bay of Taranto on the SRTM based Minimum Curvature Map. The walls can be identified as well on oblique 3D views of LANDSAT ETM imageries of this area provided by Google Earth.

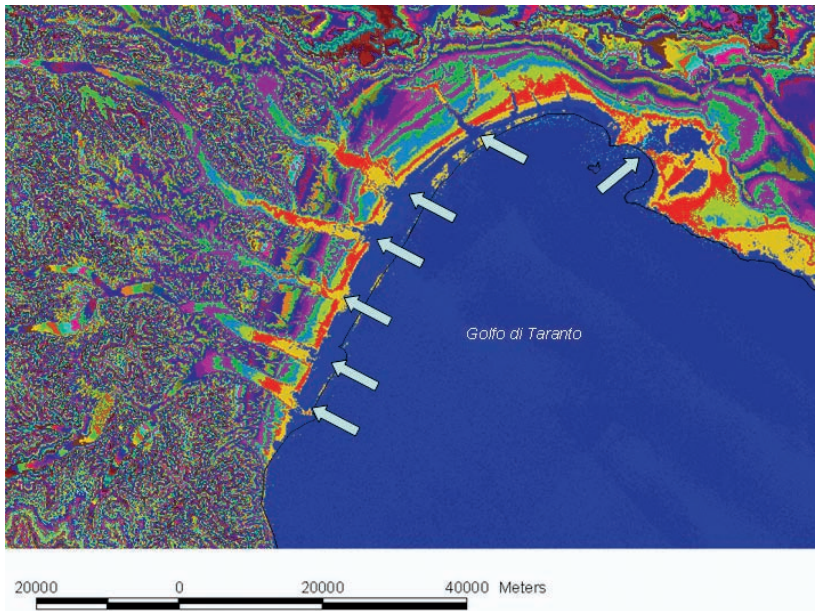


Fig. 12a: Color coded SRTM DEM from the Taranto Bay. The arrows indicate river beds serving as main entrance for floods. The shape of the bay must have influenced the intensity of tsunami waves focusing the energy especially in the central part of the bay.



Fig. 12b: River bed of Fiume Agri with potential flooding risk during a stronger tsunami event.

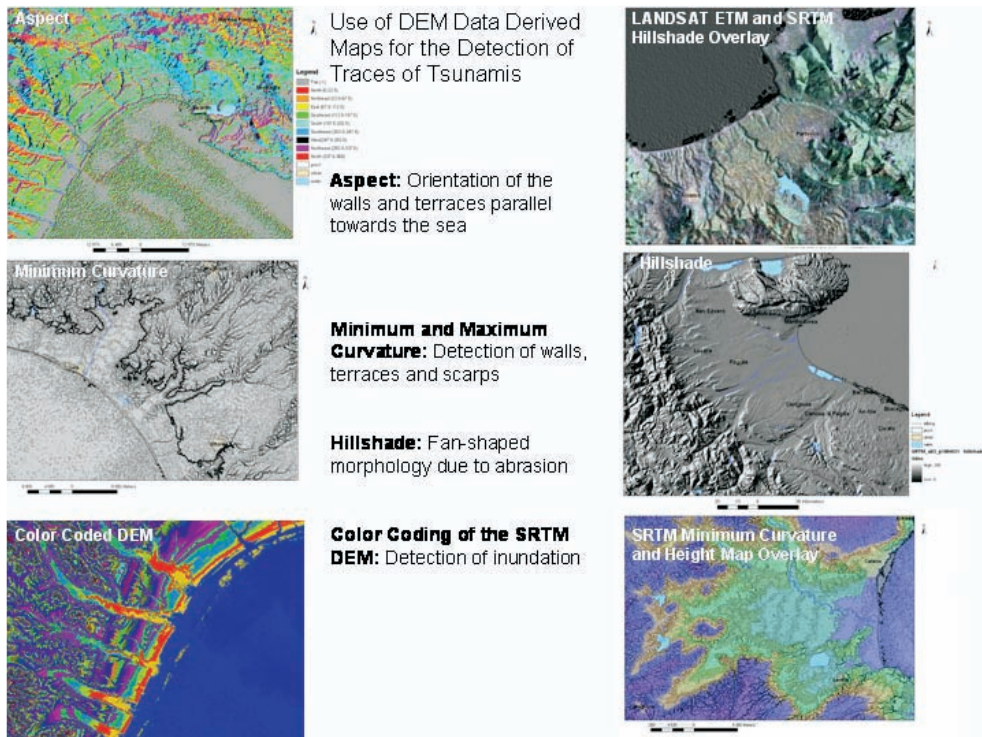


Fig. 13: Traces of tsunami waves on SRTM derived maps.

tsunami risk sites in the Bay of Taranto. Run-up values of approximately 20 km depending on coastal exposure can be assumed based on the digitally processed SRTM data. Fig. 9 shows color coded SRTM hillshade imageries providing an overview of the geomorphologic setting of the Bay of Taranto.

Fig. 10 presents the SRTM based aspect map of the area and Fig. 11 the minimum curvature map enhancing walls and terraces opened to the sea, obviously related to floods and varying sea levels, including sea level changes caused by earthquakes and aseismic movements (uplift and subsidence).

4 Conclusions

The evaluation of digital processed and enhanced LANDSAT ETM data merged with SRTM derived map products as hillshade, slope gradient, minimum and maximum

curvature in a GIS environment can contribute to the detection of traces of past tsunami events and future potential tsunami sites. In sum, several geomorphologic evidences of tsunami events can be found in Southern Italy:

- fan shaped, flat areas near the coast
- irregular lagoons, ponds and lakes
- arc-shaped (seawards opened) small walls, ridges and scarps parallel to the coast
- seawards orientation of the slopes
- fan-shape like arranged drainage pattern.

Some of these properties are summarized in Fig. 13.

Considering such tsunami characteristic features and traces several the sites exposed to tsunami risk can be detected in Southern Italy. Using Earth observation data it is possible to detect traces of past tsunami events, to compare different tsunami prone

areas and to analyse recently affected areas. The interpretation of remote sensing data from ancient tsunami prone areas will help to a better recognition of hazardous sites and, thus, being one basic layer for a tsunami alert system. Remote sensing technology embedded in a GIS information database can be used as a complementary tool for existing tsunami hazard studies offering an independent and complementary approach.

By providing up-to-date information and integrating the results with traditional tsunami hazard assessment studies, coherent and reliable information is provided. By these means the information can be used for early-warning, for decision support in disaster management. However, a lot of work still needs to be done in order to take the appropriate actions for the mitigation of the tsunami catastrophic effects on Circum Mediterranean countries.

Acknowledgements

I would like to express my gratitude to the referees and reviewers for their helpful comments. The author is very grateful to Prof. Dr. GÖTZ SCHNEIDER, Stuttgart, and Prof. Dr. D. BANNERT, Hannover, for advices and suggestions. I am grateful to Prof. Dr. KLAUS SZANGOLIES, Jena, for the review and layout of this article. Dr. THOMAS BAHR of the Technical Support of CREASO GmbH, Gilching, is kindly acknowledged for the support and assistance in digital image processing.

References

- BOSCHI, E., TINTI, S., ARMIGLIATO A., GRAZIANI, L., MANUCCI, A., MARAMAI, A., MAZZA, S., PAGNONI, G., TONINI, R. & ZANIBONI, F., 2005: A tsunami warning system for the Mediterranean: an utopia that could be implemented in a short time. – European Geosciences Union, EGU General Assembly 2005, NH6.01 Tsunamis, Geophysical Research Abstracts, Vol.7, 09852, 2005, SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU05-A-09852, <http://www.cosis.net/members/meetings/special-interest/accepted-contributions>.
- KELLETAT, D. & SCHEFFERS, A., 2004: Tsunamis im Atlantischen Ozean. – *Geographische Rundschau* **56** (6): 4–11.
- KELLETAT, D., SCHEFFERS, A. & SCHEFFERS, S., 2005: Tsunami – eine unterschätzte Naturgefahr? – *GMIT* **21**: 8–16.
- MONACO, C. & Tortorici, L., 2005: Active faulting and related tsunami in Eastern Sicily and southern Calabria. – European Geosciences Union, EGU General Assembly 2005, NH6.01 Tsunamis, Geophysical Research Abstracts, Vol.7, 01923, 2005, SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU05-A-01923, <http://www.cosis.net/members/meetings/special-interest/accepted-contributions>.
- MASTRONUZZI, G. & SANSONO, P., 2005: Morphological effects of historical Tsunamis along the Coast of Apulia Region (Southern Italy). – European Geosciences Union, EGU General Assembly 2005, NH6.01 Tsunamis, Geophysical Research Abstracts, Vol. 7, 02928, 2005, SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU 05-A-02928, <http://www.cosis.net/members/meetings/special-interest/accepted-contributions>.
- SCHEFFERS, A. & KELLETAT, D., 2005: Tsunami Relics on the Coastal Landscape West of Lisbon, Portugal. – *Science of Tsunami Hazards* **23** (1): 3.
- SCHNEIDER, G., 2004: Erdbeben. Eine Einführung für Geowissenschaftler und Bauingenieure. – Spektrum Akademischer Verlag, Elsevier GmbH, München.
- TINTI, S. & PIATANESI, A., 2001: Numerical simulations of the 8 September 1905 Calabrian tsunami (southern Italy) as a tool to improve the assessment of tsunami risk on the Calabrian coast. – U.S. National Tsunami Hazard Mitigation Program Review and International Tsunami Symposium, Seattle, Washington, 7–10 August 2001, Session 4, Atlantic and Mediterranean Tsunamis, ITS 2001 Proceedings, 547–555, <http://www.pm.el.noaa.gov/its2001/>.

Anschrift der Autorin:

PD Dr. habil. BARBARA THEILEN-WILLIGE Technical University of Berlin, Institute of Applied Geosciences, Department of Hydrology and Bureau of Applied Geoscientific Remote Sensing (BAGF)
Birkenweg 2, D-78333 Stockach, Germany
e-mail: Barbara.Theilen-Willige@t-online.de

Manuskript eingereicht: September 2005
Angenommen: Oktober 2005

Kartierung der Saturn-Eismonde: Erste Ergebnisse der amerikanisch/europäischen Cassini/Huygens Mission

TH. ROATSCH, M. WÄHLISCH, F. SCHOLTEN, A. HOFFMEISTER, K.-D. MATZ, T. DENK, G. NEUKUM, P. THOMAS, P. HELFENSTEIN & C. PORCO

Keywords: cartography, Saturn, icy satellites, Cassini/Huygens mission

Zusammenfassung: Neue regionale, hoch auflösende und globale Bildmosaike von den Saturnmonden Mimas, Enceladus, Tethys, Dione, Rhea, Iapetus und Phoebe wurden aus Satellitenbildern der *Voyager*- und *Cassini*-Mission hergestellt. Diese globalen Mosaike werden für die wissenschaftliche Interpretation und für die Planung zukünftiger Vorbeiflüge im Verlauf der aktuellen *Cassini*-Mission genutzt. Aus den Mosaiken werden druckfertige Karten produziert.

Summary: *Cartography of Saturn's Icy Satellites – First Results of the Cassini/Huygens Mission.* Images of the icy Saturnian satellites Mimas, Enceladus, Tethys, Dione, Rhea, Iapetus, and Phoebe, derived by the *Voyager* and *Cassini* cameras are used to produce new local high-resolution image mosaics as well as global mosaics, valuable both for scientific interpretation and for planning of future *Cassini* flybys. Furthermore, these global mosaics can be extended to standard cartographic products.

1 Einleitung

Das Saturnsystem besteht aus 47 Monden verschiedener Größe. Der Artikel befasst sich mit der Kartierung der Eismonde von mittlerer Größe: Mimas, Enceladus, Tethys, Dione, Rhea, Iapetus und Phoebe.

Voyager1 und *Voyager2* nahmen während ihres Fluges durch das Saturnsystem 1980 und 1981 eine Vielzahl von Bildern auf (<http://www.jpl.nasa.gov/voyager>, SMITH et al. 1982). Diese Bilder sind die Grundlage für die Planung der Aufnahmesequenzen der ISS (Imaging Science Subsystem) Kamera während der aktuellen *Cassini*-Mission (<http://saturn.jpl.nasa.gov>). In Vorbereitung auf die *Cassini*-Mission wurden deshalb *Voyager*-Bildmosaike und druckbare *Voyager*-Karten hergestellt. Sie geben den Wissenschaftlern darüber Auskunft, welche Gebiete auf den einzelnen Monden wissenschaftlich am interessantesten sind und welche Auflösungen bereits vorliegen.

Es ist erklärtes wissenschaftliches Ziel des *Cassini* Kamera Teams, die Eismonde mittlerer Größe global in 1 km Auflösung zu kartieren. Deshalb werden Bilder nicht nur während naher Vorbeiflüge, sondern auch aus größerer Entfernung aufgenommen, um die Abdeckung der Monde zu vervollständigen (PORCO et al. 2004).

Tab. 1: *Cassini*-Vorbeiflüge 2004/2005.

Saturnmond	Datum des Vorbeifluges	Flughöhe [km]
Phoebe	11. 6. 2004	2.070
Iapetus	31.12. 2004	123.400
Enceladus	17. 2. 2005	1.260
Enceladus	9. 3. 2005	500
Enceladus	14. 7. 2005	170
Mimas	2. 8. 2005	61.150
Tethys	24. 9. 2005	1.500
Hyperion	26. 9. 2005	500
Dione	11.10. 2005	500
Rhea	26.11. 2005	500

Während der nominalen Mission gibt es nahe Vorbeiflüge an allen Monden mittlerer Größe mit Ausnahme von Mimas. Begonnen wurde mit Phoebe im Juni 2004 und Iapetus im Dezember 2004, gefolgt von drei Vorbeiflügen an Enceladus im Februar, März und Juli 2005 (siehe Tab. 1, PORCO et al. 2005a, b).

Die Datenprozessierung von *Voyager*-Bildern und die Produkte werden im Kapitel 2 beschrieben. Kapitel 3 befasst sich mit der Datenprozessierung von *Cassini*-Bildern und deren Ergebnissen.

2 Die *Voyager*-Mission

2.1 Prozessierung der Einzelbilder

Das ebenfalls *ISS* genannte Kamera System von *Voyager1* und *Voyager2* mit je einer Weit- und Schmalwinkelkomponente (Brennweiten: 200 bzw. 1500 mm) war mit einem Filtrrad bestehend aus schmalbandigen und panchromatischen Filtern ausgestattet. Ausschließlich Bilder, die mit dem panchromatischen Filter aufgenommen wurden, wurden für die Erstellung von Mosaiken und Karten verwendet. Die Originalbilder der *Voyager*-Mission sind im Internet über das „*Planetary Data System (PDS) Imaging Node*“ der NASA erhältlich (<http://pds-imaging.jpl.nasa.gov>). Der erste Schritt in der Datenverarbeitung war die Umwandlung der Bilder, die im so genannten *PDS-Format* vorliegen, in das *VICAR-Format (Video Image Communication and Retrieval)* der NASA, da die gesamte Bildverarbeitung bis einschließlich der Mosaikherstellung mithilfe von *VICAR*-Programmen durchgeführt wird (<http://rushmore.jpl.nasa.gov/vicar.html>).

Der Hauptteil der kartographischen Software besteht aus *C*-Programmen, die unter Verwendung von *VICAR*-Subroutinen am DLR in Zusammenarbeit mit der TU Berlin in Vorbereitung auf die Missionen *Mars96* und *Mars Express* entwickelt wurden (siehe SCHOLTEN 1996 und SCHOLTEN et al. 2005). Nach der Formatumwandlung erfolgte die Korrektur der radiometrischen und geometrischen Kamerafehler auf der Grundlage

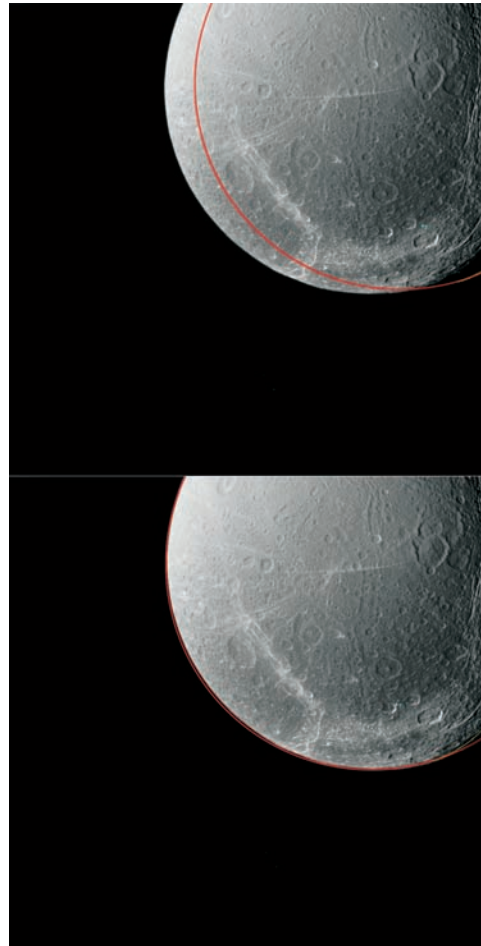


Abb. 1: Berechneter Planetenrand auf einem Bild des Saturnmondes Dione (oben) und interaktiv korrigierte Position des Planetenrandes im Dione-Bild (unten).

von vor dem Start im Labor ermittelten Kalibrationsdaten der *Voyager1* und *Voyager2* *ISS*-Kameras.

Vor der Zusammenfassung der Einzelbilder in ein Mosaik wurde jedes Bild kartenprojiziert. Dazu bedurfte es einer Verbesserung der Bahn- und Lagedaten, da die originalen Orientierungsdaten zu ungenau sind, um ein nahtloses Mosaik zu erhalten. DAVIES und KATAYAMA führten für *Voyager*-Bilder verschiedener Saturnmonde jeweils einen globalen Bündelblockausgleich durch und verbesserten dadurch die Orien-

tierungsdaten (DAVIES & KATAYAMA 1983a, b, c, 1984). Diese Daten wurden für die Kartenprojektion benutzt. Die Lagedaten anderer Bilder, für die keine verbesserten Bahn- und Lagedaten vorlagen, wurden mit einer „Limb-fit“ Software verbessert: Mit Hilfe der originalen Orientierungsdaten wurde die Lage des Planetenrandes im Bild berechnet. Durch zweidimensionales Verschieben des berechneten Planetenrandes zu dem tatsächlich aufgenommenen, wurden die Lagedaten verbessert und gespeichert (siehe Abb. 1).

Die Kartenprojektion erfolgte dann in zwei Schritten:

- Ermittlung des Durchstoßpunktes des Sichtstrahls auf der Oberfläche einer Kugel oder eines dreiaxialen Ellipsoids, in Abhängigkeit von der Form des Mondes. Diese ist in den Dokumenten der *Internationalen Astronomischen Vereinigung (IAU)* definiert (SEIDELMANN et al. 2002).

- Projektion der ermittelten Länge und Breite auf der Planetenoberfläche in eine Karte, wobei für alle Monde eine Kugel als Referenzkörper benutzt wurde. Die Wahl einer Kugel als Referenzkörper erfolgte aus Gründen der Einfachheit und Vergleichbarkeit. Es wurde der jeweilige im *IAU* Report angegebene mittlere Radius des Saturnmondes benutzt (siehe Tab. 2). Da alle bisherigen Mosaik- und Karten der Saturnmonde in einem der beiden von der *IAU* definierten Koordinatensysteme vorliegen, in planeto-

graphischer Breite und westlicher Länge, wurde dieses Koordinatensystem für alle Mosaik- und Karten beibehalten. Da eine Kugeloberfläche zur Referenz gewählt wurde, sind die planetozentrischen und planetographischen Breiten identisch.

2.2 Mosaik- und Karten

Nach der Projektion aller Einzelbilder wurden sie zu einem homogenem Mosaik zusammengefügt. Die globalen Mosaik- und Karten wurden in normal zylindrischer Kartenprojektion mit dem Nullmeridian in der Mosaikmitte erstellt. Besondere Aufmerksamkeit galt den sehr unterschiedlichen Bodenpixelauflösungen (es handelt sich um Bilder von Vorbeiflügen, nicht um Orbitbilder) und den variierenden Beleuchtungsbedingungen der Einzelbilder. Es wurde sorgfältig darauf geachtet, dass weder Bildinformation noch Kontrast an den Bildgrenzen verloren gehen.

Die Wahl der Auflösung der digitalen *Voyager*-Mosaik richtete sich nach der besten Bodenpixelauflösung der Einzelbilder und wurde auf eine ganze Zahl in Pixel/Grad gerundet. Dies entspricht den „Standard Cartographic Products“ vom United States Geological Survey (USGS, <http://astrogeology.usgs.gov/Projects/SaturnSatellites/>).

Bei der Herstellung der druckbaren Karten auf der Grundlage der Mosaik- und Karten wurden

Tab. 2: Auflösung und Maßstab der digitalen *Voyager*-Mosaik- und Karten. Auf die Anfertigung einer Iapetus-Karte wurde auf Grund der mangelnden Auflösung des Mosaiks verzichtet.

	Mittlerer Radius [km]	Auflösung der globalen digitalen Mosaik- [Pixel/Grad]	Auflösung der globalen digitalen Mosaik- [km/Pixel]	Kartenmaßstab	Druckauflösung der druckbaren Karten [Pixel/mm]
Dione	560,0	10	0,97738	1 : 5 000 000	5,1
Enceladus	249,4	10	0,43529	1 : 2 000 000	4,6
Iapetus	718,0	2,5	5,01250	-	-
Mimas	198,6	5	0,69325	1 : 2 000 000	2,9
Rhea	764,0	20	0,66672	1 : 5 000 000	7,5
Tethys	529,8	5	1,84936	1 : 5 000 000	2,7

die gleichen Blattansichten, Standards und ein ähnliches Design wie in den *Voyager*-Karten des USGS benutzt. Diese Standards werden ausführlich in GREELEY & BATSON (1990) beschrieben und sind weit verbreitet in der planetaren Kartographie. Auf einem Kartenblatt wird der Planet oder Mond global abgebildet, dabei werden konforme (winkel-treue) Projektionen verwendet: von -57° bis $+57^\circ$ die *Mercator*-Projektion und von $+/-55^\circ$ polwärts die stereographische Projektion (siehe Abb. 2 als Beispiel). Alle bis dato von der IAU definierten Namen wurden in die Karte integriert, entsprechend den Angaben unter <http://planetarynames.wr.usgs.gov>.

Tab. 2 zeigt die Auflösung der digitalen Mosaik und den Kartenmaßstab der druckbaren *Voyager*-Karten (ROATSCH et al. 2004).

3 Die *Cassini*-Mission

3.1 Prozessierung der Einzelbilder

Die *Cassini* ISS Kamera besteht aus zwei Kameras, die eine (NAC, Narrow Angle Camera) hat ein hochauflösendes Spiegelteleskop (Brennweite 2000 mm, Öffnungswinkel 0.35°), die andere (WAC, Wide Angle Camera) ein Weitwinkelobjektiv (Brennweite 200 mm, Öffnungswinkel 3.5°). Jede Kamera ist mit zwei Filterrädern ausgerüstet, die damit möglichen Filterkombinationen decken das elektromagnetische Spektrum von 0.2 bis 1.1 Mikrometer ab. Das Herzstück der Kameras bilden CCD-Detektoren mit 1024×1024 Pixel à 12 Mikrometer. Das elektronische Gesamtsystem erlaubt viele Varianten der Datenaufnahme, z. B. bei der Makropixel-Bildung und bei der Datenkompression.

Die Datenverarbeitung der *Cassini*-Bilder ähnelt der Verarbeitung der *Voyager*-Daten (siehe Kapitel 2.1). Es wurden vorrangig Bilder der NAC verwendet, zur Füllung von Lücken auch einige Bilder der Weitwinkelkamera. Nur Bilder der panchromatischen Filter CLEAR1 und CLEAR2 und des Schmalbandfilters GREEN wurden benutzt, da diese Bilder einen ähnlichen Kon-

trast zeigen. Nach der automatischen radiometrischen und geometrischen Korrektur der Einzelbilder folgte die Kartenprojektion mit den originalen Bahndaten und korrigierten Lagedaten: Da noch keine ausgeglichenen Bahn- und Lagedaten vorliegen, wurden ausgehend von den originalen Orientierungsdaten von *SPICE* die Lagedaten mithilfe der „Limb-fit“-Technik (siehe Kapitel 2.1) verbessert. Bei der Verschiebung des Planetenrandes wurden Abweichungen bis zu ca. 70 Pixel, meistens aber unter 20 Pixel gemessen. Man kann davon ausgehen, dass die absolute Bahngenaugigkeit bei ca. 500 m, die absolute Lagegenauigkeit bei ca. 1 mrad liegt. Ein globaler Bündelblockausgleich zur gleichzeitigen Verbesserung von Bahn- und Lagedaten war nicht Ziel dieser Arbeit. Als kartographische Grundlagen, wie die Wahl des Koordinatensystems und Form des Referenzkörpers, wurden dieselben benutzt wie bei der Kartenprojektion der *Voyager*-Bilder, entsprechend der Empfehlung des USGS (KIRK et al. 1998). Anstelle der im IAU-Report angegebenen Radien wurden neu berechnete dreiachsige Modelle benutzt (siehe Tab. 3, THOMAS 2005). Im Unterschied zur *Voyager*-Datenverarbeitung wurde jedes einzelne Bild photometrisch mit der Henyey-Greenstein Funktion korrigiert (HAPKE 1993). Die Funktionsparameter wurden aus VERBISCHER & VEVERKA (1992, 1994, 1998) bzw. SIMONELLI et al. (1999) entnommen.

3.2 Mosaik und Karten

Da bis zum Ende der *Cassini*-Mission kontinuierlich neue Bilder aufgenommen werden, ist die Mosaikherstellung ein laufender Prozess. Ausgangspunkt für die globalen Mosaik sind die Mosaik der *Voyager*-Mission (siehe Abb. 3a), die nach und nach durch höher aufgelöste Teilmosaik ersetzt werden (siehe Abb. 3b). Insbesondere nach nahen Vorbeifügen mit hoch auflösenden Aufnahmen werden die vorliegenden Mosaik aktualisiert. Die aktuellen Mosaik werden dann jeweils dem ISS-Team zur Verfügung gestellt, aber auch zur Planung benutzt (siehe Abb. 3c).

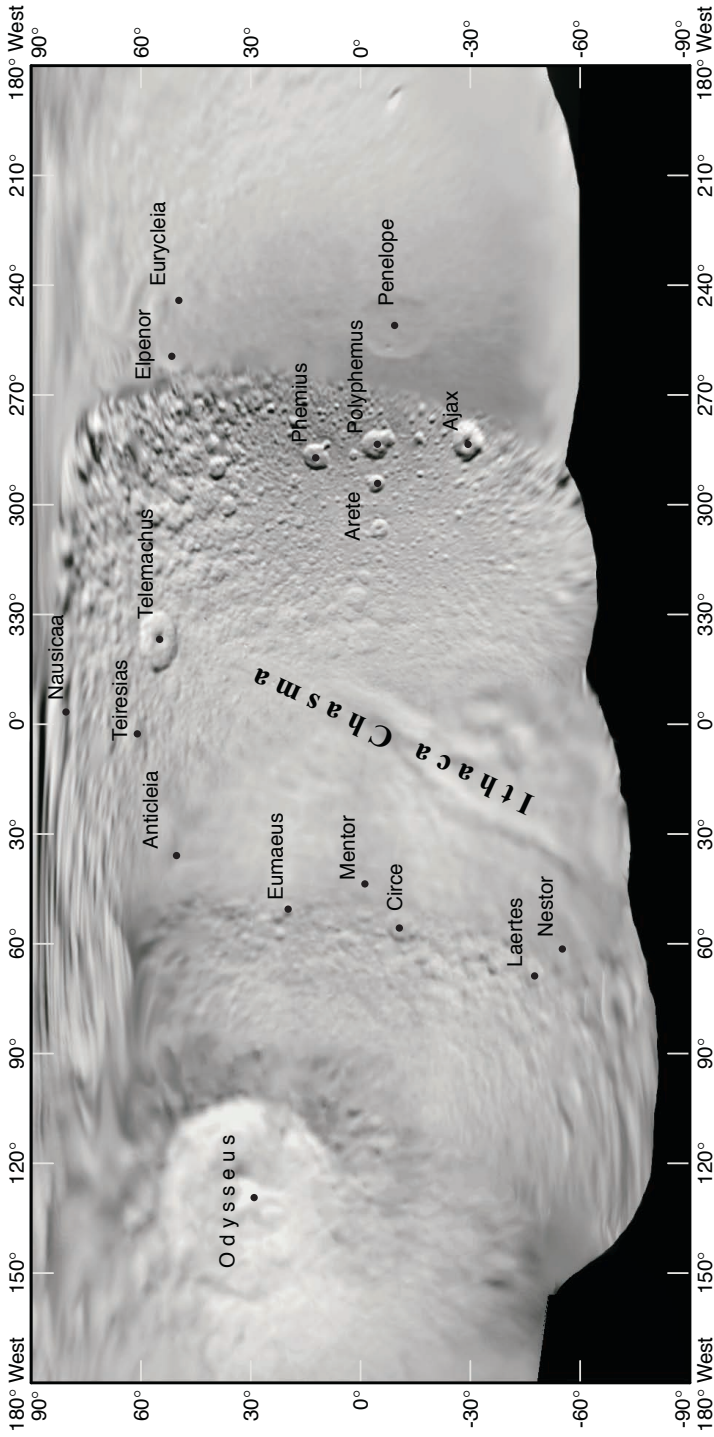


Abb. 3a: Globales digitales Mosaik von Tethys aus Voyager-Daten.

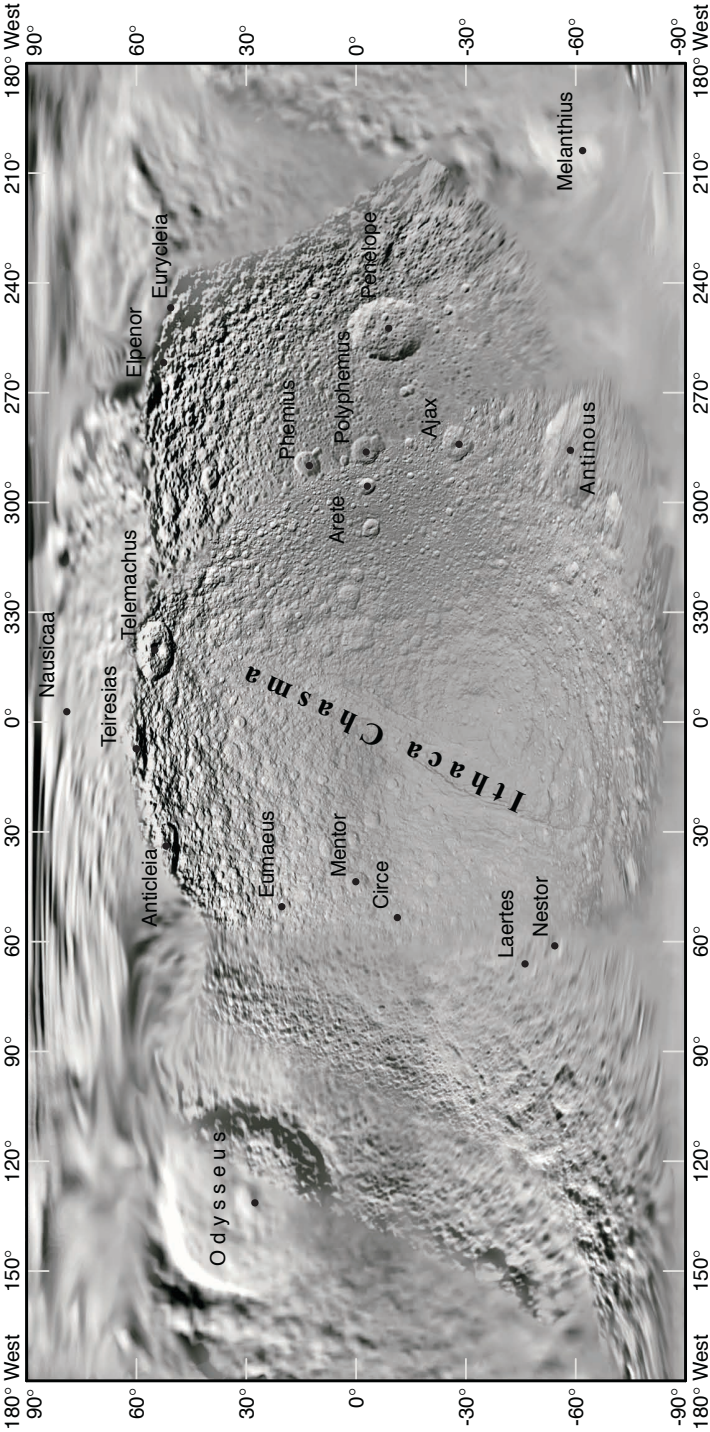


Abb. 3b: Globales digitales Mosaik von Tethys aus Cassini- und Voyager-Daten, hergestellt nach dem Vorbeiflug im September 2005.

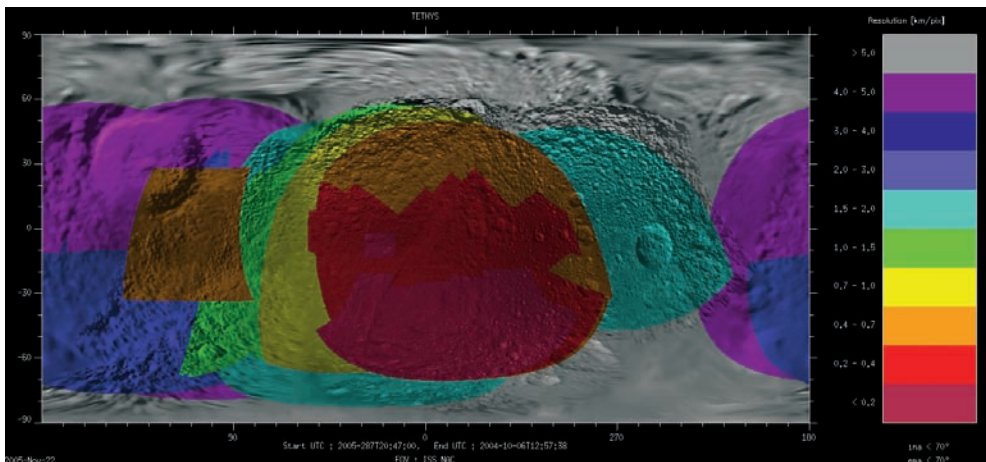


Abb. 3c: Globales digitales Mosaik von Tethys, das die geplante Bildabdeckung des Mondes bis zum Ende der nominalen *Cassini*-Mission zeigt.

Die Auflösung der globalen Mosaik richtet sich nach der Bodenpixelauflösung der Mehrzahl der hoch auflösenden Bilder. Für einige Regionen, die besonders hoch auflösend aufgenommen worden sind, wurden Teilmosaik erstellt (siehe Abb. 4).

Es gibt bis jetzt nur einen abgeschlossenen hoch auflösenden Datensatz, den vom Saturnmond Phoebe. Auch von Enceladus sind bis 2008 keine weiteren hoch auflösenden Bilder zu erwarten. Es wurde deshalb damit begonnen, Standardkartenwerke von diesen beiden Monden herzustellen. Tab. 3 zeigt die Auflösung der Mosaik und Karten. Das digitale globale Mosaik von Phoebe besteht aus 41 Einzelbildern der ISS-NAC und hat eine Auflösung von 0,233 km/Pixel, obwohl einige Bilder eine Auflösung bis zu 0,07 km/Pixel erreichen. Das Kartenblatt beinhaltet drei separate Karten, den äquatorialen Teil (von -57° bis $+57^\circ$) in Mercator-Projektion im Maßstab 1:1 000 000 und zwei stereographische Projektionen für Nord- und Südpol ab 55° polwärts. Die Projektionen sind konform, die einzelnen Blattschnitte überlappen, und der Maßstab der Polkarten wurde so gewählt, dass der Umfang der Polkreise der Breite der Mercator-Projektion entspricht (siehe Abb. 5). Damit wurde der von GREELEY und BATSON vorgelegte Standard beibehalten.

Die Benennung der geologischen Einheiten erfolgte vorläufig durch das *Cassini*-ISS Team, die einzelnen Namen sind bei der IAU eingereicht und müssen noch bestätigt werden. Ein regionales Orthobild von Phoebe auf der Grundlage eines errechneten Höhenmodells ist Gegenstand einer anderen Arbeit (GIESE et al. 2005).

Das zu erstellende Kartenwerk von Enceladus ist im Maßstab von 1:500 000 geplant und wie folgt konzipiert: 15 einzelne Blätter entsprechend dem Vorschlag des USGS für größere Monde (GREELEY & BATSON 1990, KIRK 1997, 2002, 2003). Der äquatoriale Teil (von -21° bis $+21^\circ$) ist in Mercatorprojektion mit einem normalem Schnittzylinder bei $-13^\circ/+13^\circ$ geplant, die Regionen zwischen dem äquatorialen Teil und den Polen in Lambert Konischer Projektion mit den Standardparallelen bei -30° und -62° (bzw. $+30^\circ$ und 62°). Die Polregionen in Stereographischer Projektion beginnen bei $-/+65^\circ$ (siehe Abb. 6).

4 Ausblick

Die *Cassini*-Sonde setzt ihre Mission durch das Saturnsystem planmäßig bis 2008 mit weiteren nahen Vorbeifügen an Tethys, Dione, Rhea, Iapetus und Enceladus fort. Die kommenden Daten werden zur Vervoll-

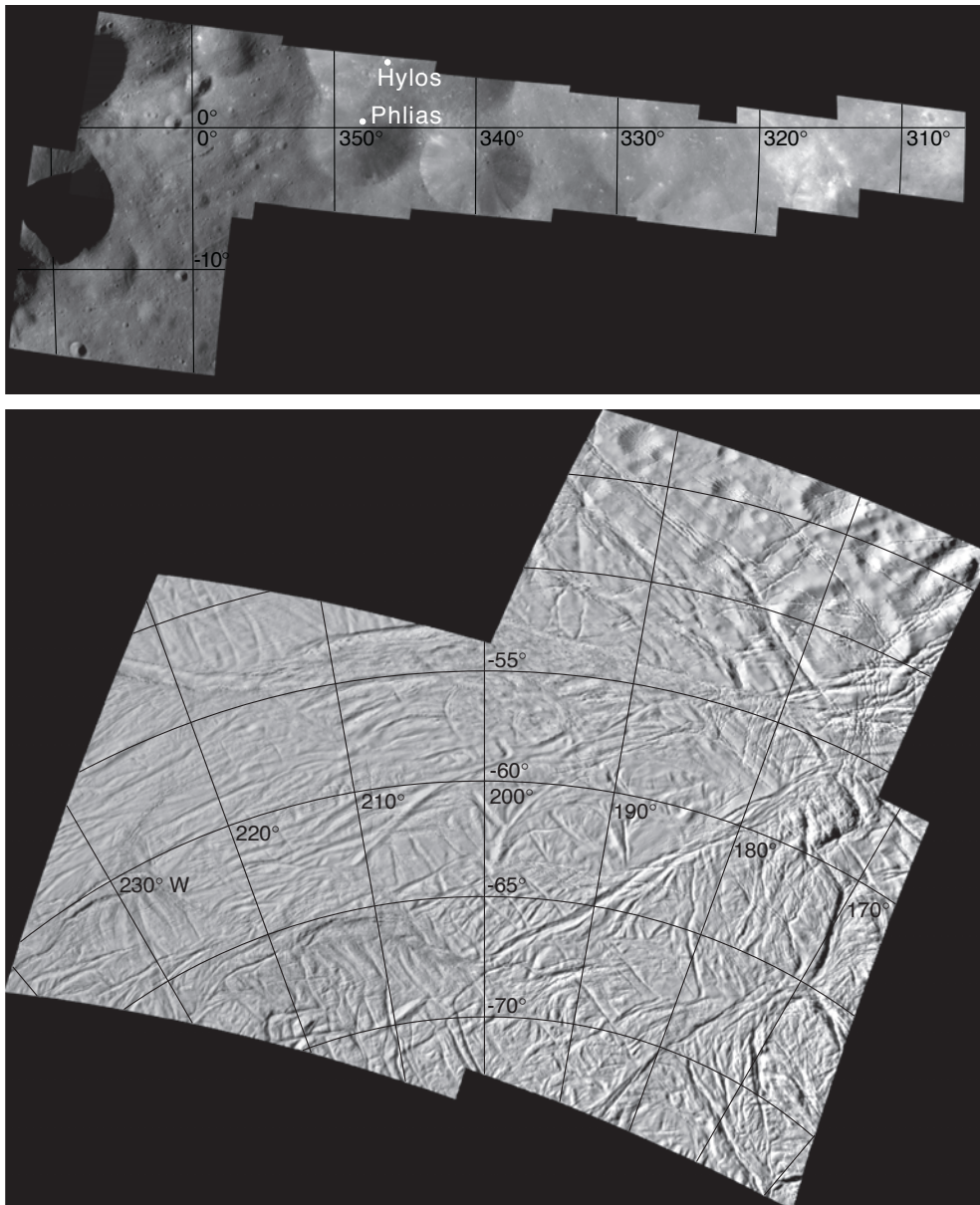


Abb. 4: Hoch auflösendes Phoebe-Mosaik (oben, aus 7 Aufnahmen) mit einer digitalen Auflösung von 10 m/Pixel, in sinusoidaler Projektion und einer Ausdehnung von 17.5° S bis 8.2° N und von 13.4° W bis 305.4° W. Enceladus-Mosaik (unten, 47 Aufnahmen der ISS-NAC) mit einer digitalen Auflösung von 70 m/Pixel, in Südpol-ständiger Orthographischer Projektion und einer Ausdehnung von 73° S bis 41° S und von 173° W bis 241° W.

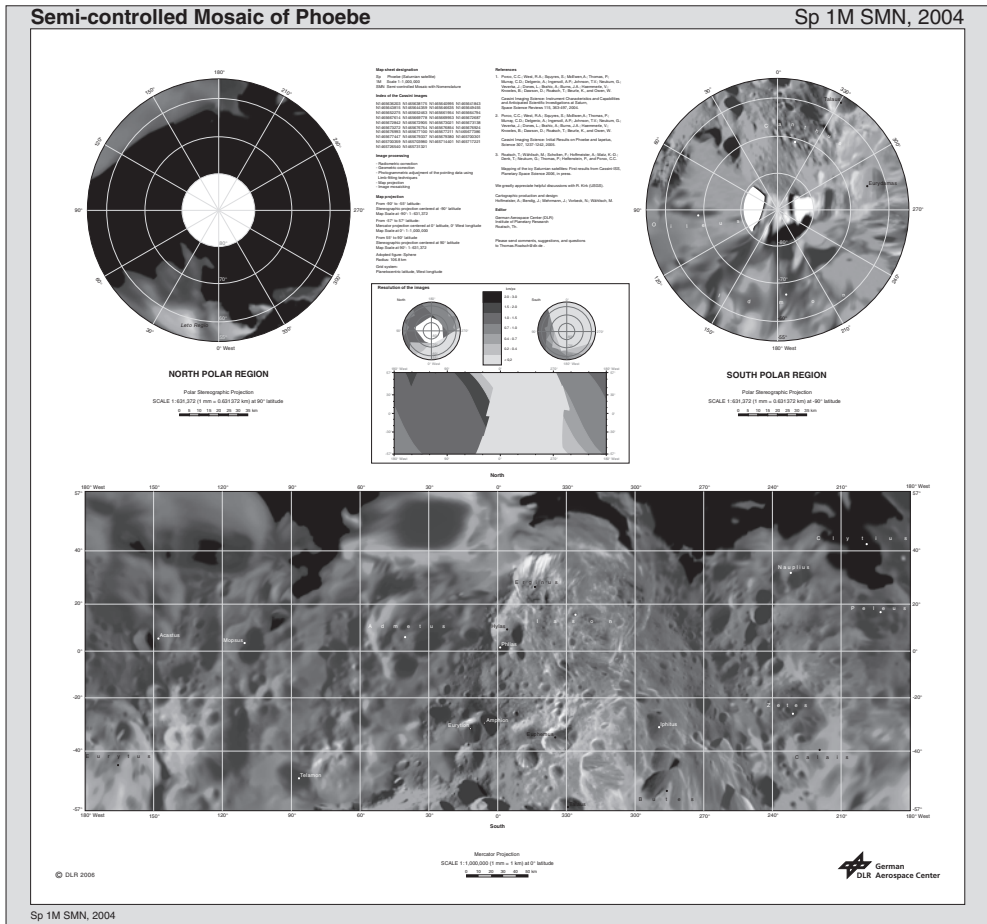


Abb. 5: Phoebe-Karte im Maßstab 1 : 1 000 000 (Äquatorregion) bzw. 1 : 631 372 (Polregionen).

ständigung der bisherigen Mosaik- und Karten benutzt. Nach Beendigung der Datenerfassung wird es möglich sein, ein globales geodätisches Kontrollnetz für die einzelnen Saturnmonde neu zu rechnen und Orthophotomosaik zu erstellen.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei RANDY KIRK (USGS) für die überaus hilfreiche Diskussion über die kartographischen Standards bei der Erstellung von Produkten aus Cassini-Bildern und bei der Begutachtung von Voyager- und Cassini-Karten.

Literatur

DAVIES, M.E. & KATAYAMA, F.Y., 1983a: The control networks of Mimas and Enceladus. – *Icarus* **1983** (53): 332–340.

DAVIES, M.E. & KATAYAMA, F.Y., 1983b: The control networks of Tethys and Dione. – *Journal Geophysical Research* **1983** (88): 8729–8735.

DAVIES, M.E. & KATAYAMA, F.Y., 1983c: The control network of Rhea. – *Icarus* **1983** (56): 603–610.

DAVIES, M.E. & KATAYAMA, F.Y., 1984: The control network of Iapetus. – *Icarus* **1984** (59): 199–204.

HAPKE, B., 1993: *Theory of Reflectance Spectroscopy*. – *Topics in Remote Sensing* **3**: 272; Cambridge University Press.

Anschriften der Autoren:

Dr. THOMAS ROATSCH
Dipl.-Phys. MARITA WÄHLISCH
Dipl.-Ing. FRANK SCHOLTEN
ANGELIKA HOFFMEISTER
Dipl.-Math. KLAUS-DIETER MATZ
Institut für Planetenforschung
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
(DLR), 12489 Berlin
Tel.: ++49-30-67055-339 (T. ROATSCH)
Fax: ++49-30-67055-402
e-mail: Vorname.Nachname@dlr.de

Prof. Dr. GERHARD NEUKUM
Dipl.-Ing. TILMANN DENK
Freie Universität Berlin
Institut für Geologische Wissenschaften, Fernerkundung der Erde und der Planeten, Malteserstr.
74-100, 12249 Berlin
Tel.: ++49-30-83870-579 (G. NEUKUM)
Fax: ++49-30-83870-118
e-mail: gneukum,denk@zedat.fu-berlin.de

Dr. PETER THOMAS
Dr. PAUL HELFENSTEIN
Cornell University, Space Science Building, Ithaca, NY 14853, USA
e-mail: helfenst@astro.cornell.edu,
thomas@baritone.astro.cornell.edu

Dr. CAROLYN C. PORCO
Cassini Imaging Central Laboratory for Operations (CICLOPS), Space Science Institute 4750 Walnut Street
Boulder, Colorado 80301 USA
e-mail: carolyn@ciclops.org

Manuskript eingereicht: November 2005
Angenommen: November 2005

Automatic non-ground Objects Extraction based on Multi-Returned LIDAR data

YUNSHENG WANG, HOLGER WEINACKER & BARBARA KOCH, Freiburg

Keywords: photogrammetry, LIDAR, DSM, DIFF, segmentation, classification, ground objects, 2D building outline

Summary: A series of processes for fully automatic non-ground objects detection, classification and reconstruction based on LIDAR data is presented in this paper. Ground and non-ground objects were been separated directly from the DSM grid image, which was interpolated from first returned echo of laser measuring pulse with point height related to gray value, without any other accessorial information of pure terrain character. The DSM image has been segmented into many internal height homogenous regions by analyzing the second derivative of DSM surface heights. Feature of height changes inside each segment of DSM was homogenous. Classification of these homogenous regions was implemented based on a DIFF (First-Last-Echo-Height-Difference) image, which was interpolated from multi-returned LIDAR data with the height difference between first and last echo of a single measuring pulse related to gray value. The homogenous regions can be classified as buildings, trees and ground objects (streets, squares, etc.) by the quantity of first-last-echo height difference signals inside them. For the vegetations, a single tree-crown delineation process has been implemented. In each building region, a fine polygon for building footprint was reconstructed by a least square line fitting process on first last echo height difference signals along the building border. With the footprint polygon as the basic form and the average height of LIDAR points inside the polygon to be building height, simple 3D model of buildings were constructed.

Zusammenfassung: Automatische Extraktion von Nicht-Boden-Objekten auf der Grundlage von Multi-Reflektions-LIDAR-Daten. In dieser Veröffentlichung werden Prozessabläufe zur automatischen Erfassung, Klassifizierung und Rekonstruktion von 3D-Objekten auf der Basis von LIDAR Daten präsentiert. Die 3D Objekte werden direkt aus einem DSM Grid extrahiert. Das DSM wird dabei aus dem ersten Laserecho interpoliert, wobei die Grauwerte direkt auf Punkthöhen bezogen sind. In einem weiteren Schritt wird das DSM, basierend auf der zweiten Ableitung, in viele homogene Höhenregionen unterteilt. Die Klassifizierung dieser Höhenregionen erfolgt dann auf der Basis eines Differenzbildes (Differenz aus erstem und letztem Laserecho). Aufgrund der Echodifferenz innerhalb der homogenen Höhenregionen kann eine zuverlässige Zuordnung zu Gebäuden, Bäumen (3-D Objekten) und Boden (z. B. Straßen, Plätze, Wiesen) erfolgen. Zur weiteren Delinierung von Bäumen und Sträuchern innerhalb der Regionen wird ein spezifischer Algorithmus, wie er bei WEINACKER et al. 2004 beschrieben ist, verwendet. Die Abgrenzung von Gebäuden, innerhalb von Gebäuderegion, erfolgt auf der Basis eines „Least Square Fitting“ entlang der Gebäudekanten, die durch starke Differenzsignale zwischen dem ersten und letztem Echo gekennzeichnet sind. Basierend auf dem daraus abgeleiteten Grundrisspolygon und der durchschnittlichen Höhe, gemessen innerhalb des Polygons, wird dann eine angenäherte Gebäudehöhe errechnet und einfache 3-D Gebäudemodelle rekonstruiert.

1 Introduction

Since LIDAR has been considered as an efficient technology for 3D data capture in recent years, the extraction of non-ground objects based on LIDAR data with or without help from other information such as multi-spectral images has been an active research region for several years. Extraction of trees and extraction of buildings are the two main study orientations while trees and buildings are the two main components of non-ground objects.

More efforts will be given to the extraction of buildings in our research. Even so both vegetation regions and building regions will be detected from DSM at the same time by segmentation on DSM and classification with help from First-Last-Echo-Height-Difference (DIFF) image.

According to BRENNER (2000), extraction of building can be divided into firstly, building detection and secondly, building reconstruction. That means, building regions should be detected and 2D building outlines been approximated before generating 3D polyhedral building models.

For the generation of 2D building outlines, nDSM (normalized Digital Surface Model) based method was the most popular one. Building regions were detected by a height threshold on nDSM, which was calculated by subtracting DSM (Digital Surface Model) with DTM (Digital Terrain Model). Morphological algorithms, texture classification and other edge detecting algorithms have been used to generate primitives of building outlines (ROTTENSTEINER 2002, ELBERINK 2000 etc.). Beside nDSM, existed 2D ground plan of city are been used directly

as the primitive of building outline in some researches (VOSSelman 2001, BRENNER 2003). Some other works are trying to get the 2D building outlines directly from LIDAR raw data (CHO et al. 2004).

For the nDSM based methods, the result of building extraction relied highly on the precision of nDSM. Therefore, calculation of DSM and DTM has played a decisive role in those procedures. Generation of different kinds of digital ground models obtained from the original point clouds by data filtering and interpolation has been a special research topic for years. Today it is still the most important utilization of LIDAR data (BRENNER 2003). Although many efforts have been achieved, there are still many problems when the terrain structure or the land-use situation is relative complex. For example, buildings with large flat roof such workshops might be considered as part of terrain and existed in both DSM and DTM, thus to be lost in nDSM. Another problem case is that the structure of building roof might be destroyed by calculation of nDSM when the building sites on a steep slope (Fig.1), and then cause a false detection of building 2D form.

To use the 2D ground plan of city is much easier, but in some cases there might be no existing GIS 2D ground plan or there might be some problems with GIS data updating. However, 2D ground plan could be part of building detection, but might not be the only source of 2D building feature.

In this paper, we intend to detect buildings directly from DSM, because it takes too many efforts to generate a DTM from LIDAR data which is eligible for calculation



Fig. 1: Problem building case on nDSM.

of nDSM to make the building extraction, especially in changeful terrain area, and there will be much less chance for building structure deformation in DSM than nDSM.

The study is based on multi-returned LIDAR data. Beside the DSM image, a calculated grid image, which is called in this paper as DIFF image, has played an important role in the research. More detailed information about this DIFF image will be given in the second part of the paper. Algorithms for non-ground objects detection and classification will be main content of the third part. In the fourth part, we concentrate with the detected building regions, 2D building structure will be found out and simple 3D block building model will be reconstructed. Short conclusion of this study and the prospect view of next approach will be given in the last.

The DSM segmentation method has been tested with LIDAR data from Engen, Memmingen and Mannheim (Provided by Toposys GmbH) which with different point density from 2 ~ 3 points per square meter (Engen, Memmingen) to over 10 points per square meter (Mannheim). The algorithms for classification of the segmentation results and reconstruction of building model has been tested with Memmingen and Mannheim data, cause data from Engen is single-returned LIDAR data which not fulfill the condition of the algorithms.

2 Hypothesis for the used method

2.1 First and Last echo of one measuring pulse

Since the laser pulse has an angular beam-width, it will cover a circular area when it hits the ground object. The laser beam can penetrate some transparent objects like trees due to its physical characters. In this case, some of its energy will be reflected back from the object top surface and other portions might penetrate to different depths inside the pulse area, some of them will reach the ground surface. Thus for objects which can be penetrated by laser pulse more than one echo can be recorded for each single measuring laser pulse, the first echo intends to represent the top of the object and the last echo shows that how deep the laser beam can reach through the object.

Based on the different physical characters of ground objects, we can deduce that there will be no significant height difference between the first and last echo in solid object area such as building roofs and grounds. While a relative significant height difference will be showed in the reflected echoes by vegetation or trees in contrast, because most of them can more or less be penetrated by the laser beam. Building boundaries will also show a high response of height difference between first and last echo, the reason for this is, when the laser beam reaches to the ground surface it will have a footprint with a size in the range of 15–30 cm or more, so if the laser beam hits the edge of a building

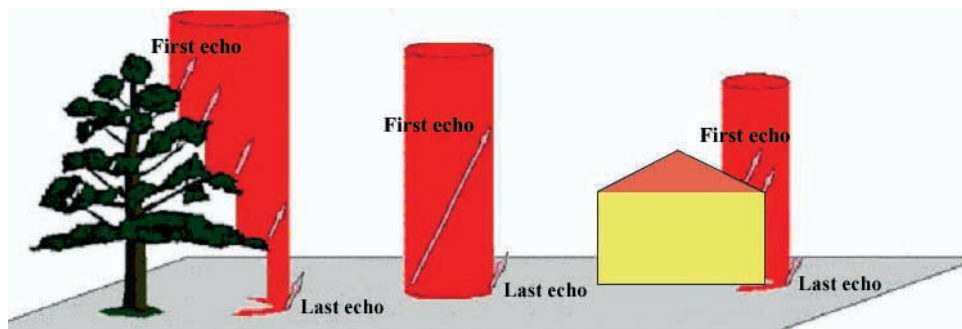


Fig. 2: First and Last echo in different kind of objects (IPF 2003, modulated by WANG).

then part of the beam will be reflected from the roof of the building and the other part might reach the ground (Fig. 2). These different features of first-last echo height difference for different ground objects can be main factor of ground objects classification.

2.2 Generation of DSM and DIFF image

Both DSM and DIFF were generated by Treesvis, a software system for LIDAR process and visualization developed at Department of Remote Sensing and Landscape Information Systems (FeLis) (WEINACKER et

al. 2004). The DSM image was interpolated from the first returned echo with point height as gray value, and the DIFF image took the height difference between first and last echo for each measured point as gray value.

2.3 Work flow

The main work flow includes three major steps:

First, segmentation, DSM has been segmented into separated regions where the surface height changes inside each region shows a homogenous character.

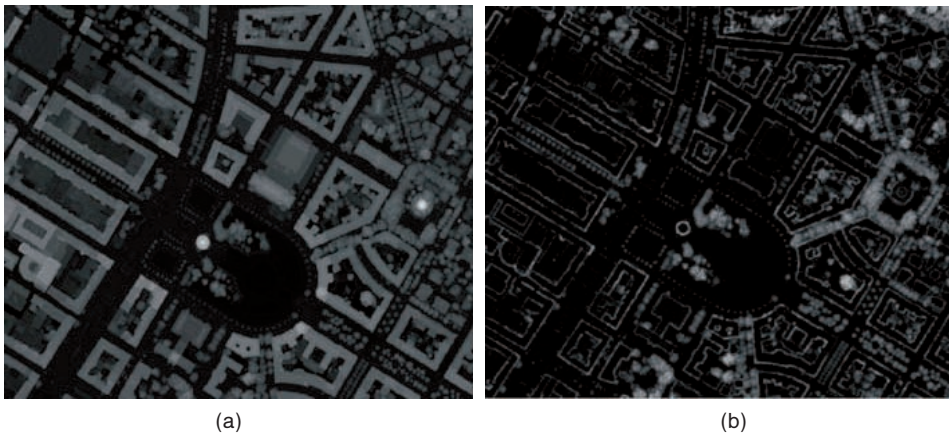


Fig. 3: (a) DSM image; (b) DIFF image; (Part of city Mannheim center, resolution 0.5 meters).

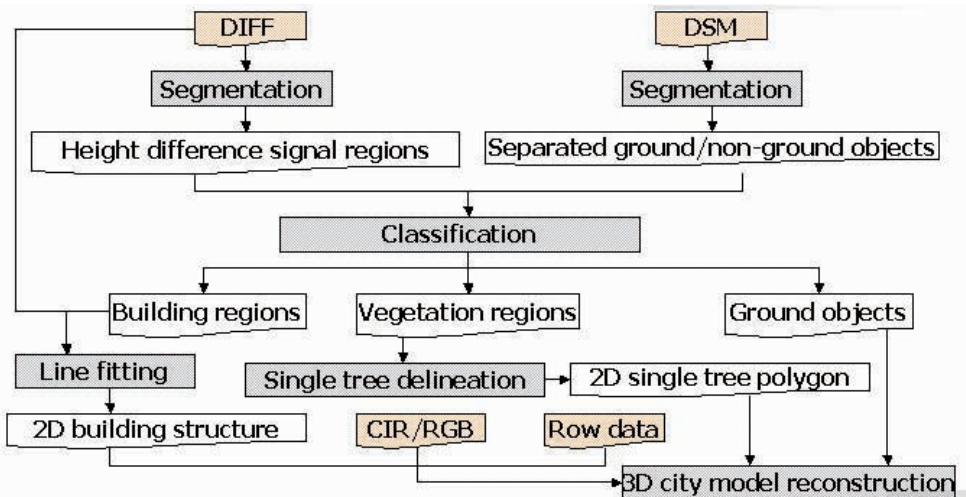


Fig. 4: Main Work flow.

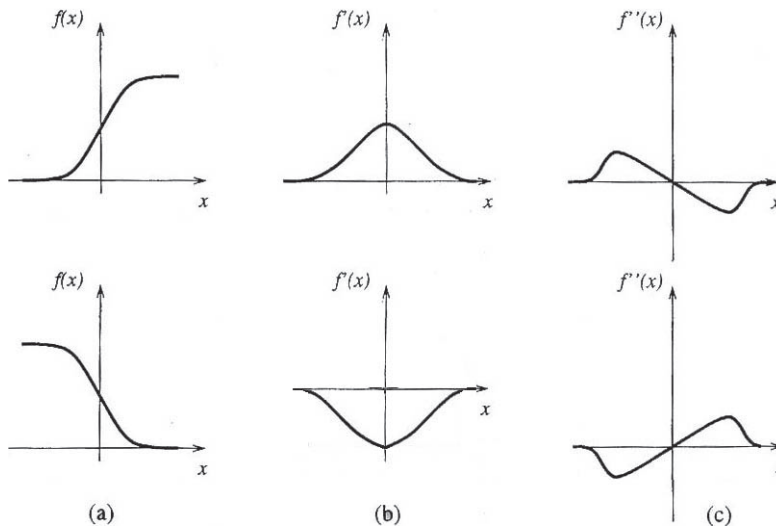


Fig. 5: Second derivative of increase and decrease step changes. (a) Original ascent and descent height change; (b) First derivative on height change; (c) Second derivative on height change.

Second, classification, the height homogenous regions have been classified into grounds, trees and buildings.

Third, 2D building outline reconstruction, to generate a polygon which describes the 2D building structure. Simple 3D building model can be generated with the 2D polygon as building form and the average height on building roof as building height.

3 Segmentation on DSM image

3.1 Second derivative of DSM

In a DSM image, there must be a significant height change (step change) between grounds and non-ground objects while the height change within a single object will be much more less. The second derivative of ground surface height is used to separate ground and non-ground objects, because the value of second derivative must be negative after a significant increasing height change until another obvious decreasing height occurred, and it will be zero along the edges of objects (Fig. 4).

Regions within a closed edge, which have same sign on second derivative value has been considered as internal height

homogenous. According to the height feature of non-ground objects, the second derivative value must be negative within a single non-ground object, which can be extracted easily by detecting the sign of second derivative.

The second derivative of DSM image can be computed with Laplace of gauss algorithm easily. The DSM should be smooth firstly so that the height change within a single building roof or trees could be neglected. After a simple threshold on the Laplace image (take out all the negative regions), heights within each separated region are homogenous.

3.2 Height Homogenous Regions

After the refinement of the separated regions with morphological closing and opening algorithm, the feature of height change within those separated regions must be relatively homogenous and can be called height homogenous regions, which means that the height changes within the region are smooth and continue. As has been mentioned in 3.1, objects within the height homogenous regions must be non-ground objects, in fact, the possibilities of the objects inside such a

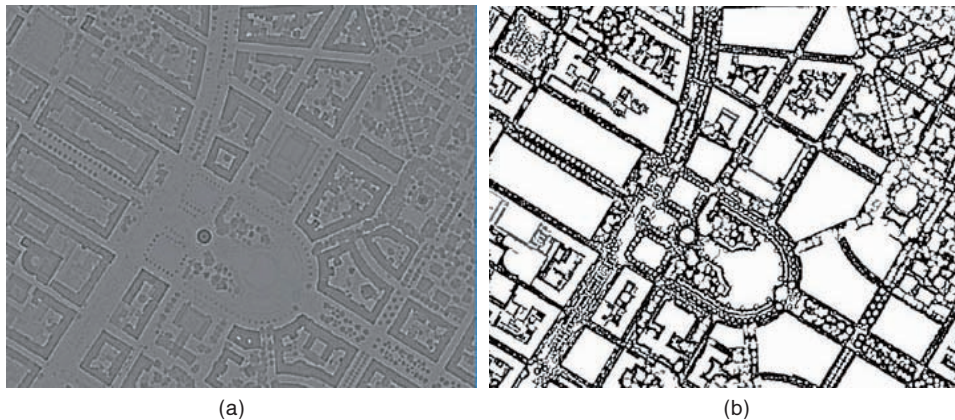


Fig. 6: (a) Laplace image of DSM; (b) Height homogenous regions (segmentation results).

single height homogenous region can be generalized as follows:

- Grounds (roads/squares etc.)
- Building(s) (single/ conjoined)
- Tree(s) (single/conjoined)
- Conjoined building(s) and tree(s) (when building(s) were overlapped by tree crown(s))

A classification process was applied to classify those regions into Grounds, Buildings and trees.

4 Objects Classification

4.1 Extraction of Trees

As it has been shown in Fig.6 (b), some of the height homogenous regions are combined with buildings and trees. The reason is, when trees have similar height with adjacent buildings, in another word, when building roofs are overlapped by near tree crowns, the second derivative of height is not sensitive enough to separate them because there is no significant height change between the buildings and trees.

To get a better result for classification of those height homogenous regions, it's better to make the regions more purely. That means to extract the trees out of the height homogenous regions in which trees and buildings are combined together, so that to

make sure there is only one kind of object within a single homogenous region.

Big area of trees can be detected directly by their morphological character in DIFF image. They always showed a cloud-like feature in DIFF while the edges of buildings showed a line-like feature. Those line-like objects can be erased out by a morphological-skiz and closing process, the remains are those cloud-like regions, which can be considered as trees. This procedure is used for the extraction of big area of vegetation, smaller tree objects will be extracted by the classification algorithm in the next step.

4.2 Classification of Height homogenous regions

As has been mentioned in 2.1, there is nearly no height difference between first and last echo of a single laser pulse in the ground, while only a few height difference can be recorded along the border of building. Trees in contrast will show a high density of height difference between first and last pulse inside. Therefore, the classification of separated height homogenous regions into grounds, buildings, or trees can be carried out by counting the amount of the height differences between first and last echo within them.

The DIFF image is used to get information on the character and amount of the height differences between first and last echo

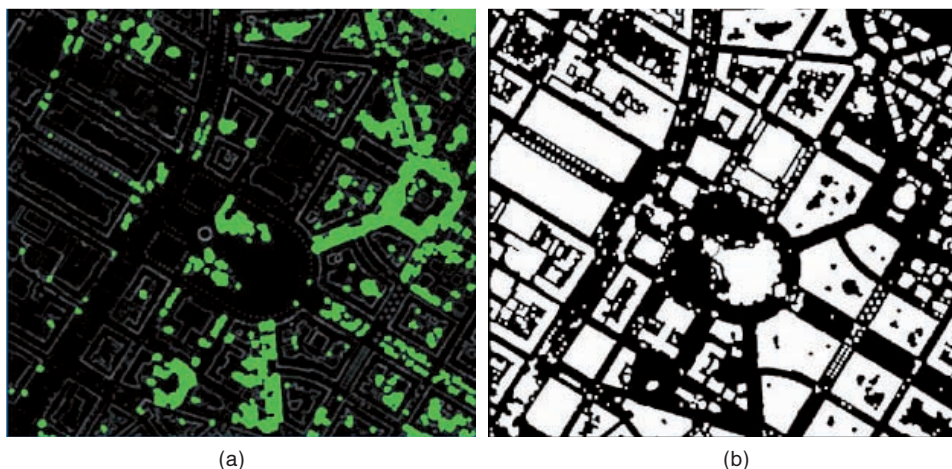


Fig. 7: (a) Trees Extracted from DIFF; (b) Rest of Height homogenous regions.

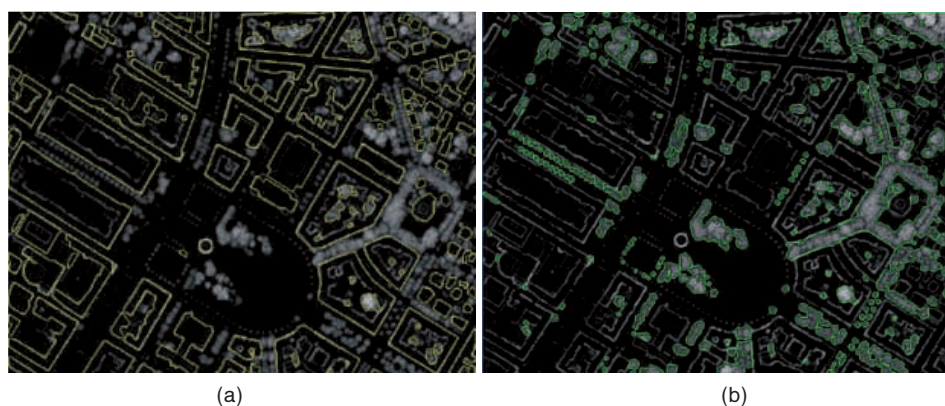


Fig. 8: (a) Detected buildings; (b) Detected trees (combined with results from 4.1 and 4.2).

inside a height homogenous region. Firstly, a simple threshold on DIFF image can get the signal regions in which height difference has been captured. Secondly, the intersections of height homogenous regions and the signal regions from DIFF image have been detected. The parameter for classification can be estimated by following expression:

$$R = A_I / A^R$$

in which

A_I : Area of intersection region between a single height homogenous region and DIFF signal region, which means amount of height difference signals within a single height homogenous region.

A_R : Area of the corresponded single height homogenous region.

The classification of those height homogenous regions can be accomplished with the following criteria of R that:

Ground, when $R < 0.1$
 Building, when $0.1 \leq R \leq 0.9$
 Tree, when $R < 0.9$

Thresholds 0.1, 0.9 are experience values.

R should be zero for ground, which means that there should be no height difference between first and last echo inside the height homogenous region, while R should be 1 for trees since the homogenous region should

full of height difference signals. The rest homogenous regions, which are partly covered by height difference signals should be buildings. Considered to the noise on the image and the other possible errors, a relatively loose criteria has been given to ground and trees with a interval of 0.1 as buffer.

4.3 Delineation of single tree crown polygon within tree regions

After the combination of the detected tree regions from 4.1 and 4.2, a single tree crown delineation process has been fulfilled within these regions. A group of polygons, which described the single tree crowns have been calculated, the single tree objects have been simply classified by the rate between tree crown width and tree heights, more detailed descriptions about this single tree extraction algorithm can be found in (WEINACKER et al. 2004).

5 Building Reconstruction

5.1 Line detection within a single extracted building region based on DIFF image

After detection of building regions from DSM, the outlines for the building or conjunct buildings inside them need to be extracted.

Based on the fact that height difference between first and last echo in a single measuring pulse can be captured at the edges of buildings. Although these height difference signals in DIFF image might not be consecutive along the building edges, it is

possible to extract the primitive structure of building form from them. The reconstruction of 2D building outlines is therefore started from those primitive building structures given by the height difference signals.

Based on an assumption that all the line-like height different signal groups within a detected building region represent a part of building edge. The first step is to extract the pixels that represent height difference signals in the DIFF image. Then, a least square line match procedure was applied to the single pixels. The algorithm used here is a Weighted “least squares” line fitting, where the impact of outliers is decreased based on their distance to the approximated line. Several line segments are found by the line fitting procedure, the coordinates of start point, end point and the normal vector are given as parameters of fitted line segments. There are lots of available “least squares” based line fitting algorithms, more investigations are needed to decide the most appropriate algorithms for various kinds of height difference signals.

5.2 2D building outline reconstruction

The anticipant result of 2D building outline reconstruction should be a closed polygon which described the main form of the building, so a post processing is needed to accomplish the reconstruction of building outline polygon with those fitted line segments from 4.1. The main assignments of the post processing are:

- Combine two line segments, where the distance between the end point of first line and the start point of the second line is

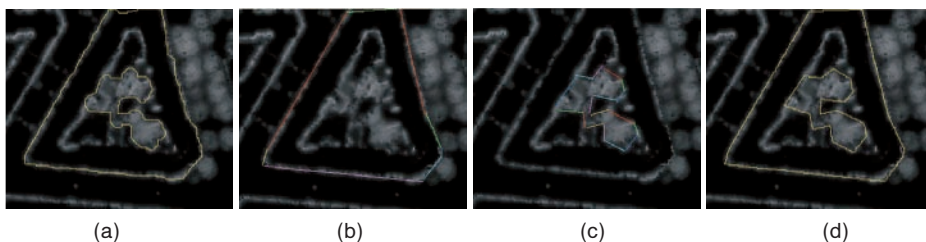


Fig. 9: (a) Detected building region; (b) outer polygon; (c) inner polygon; (d) final polygon.

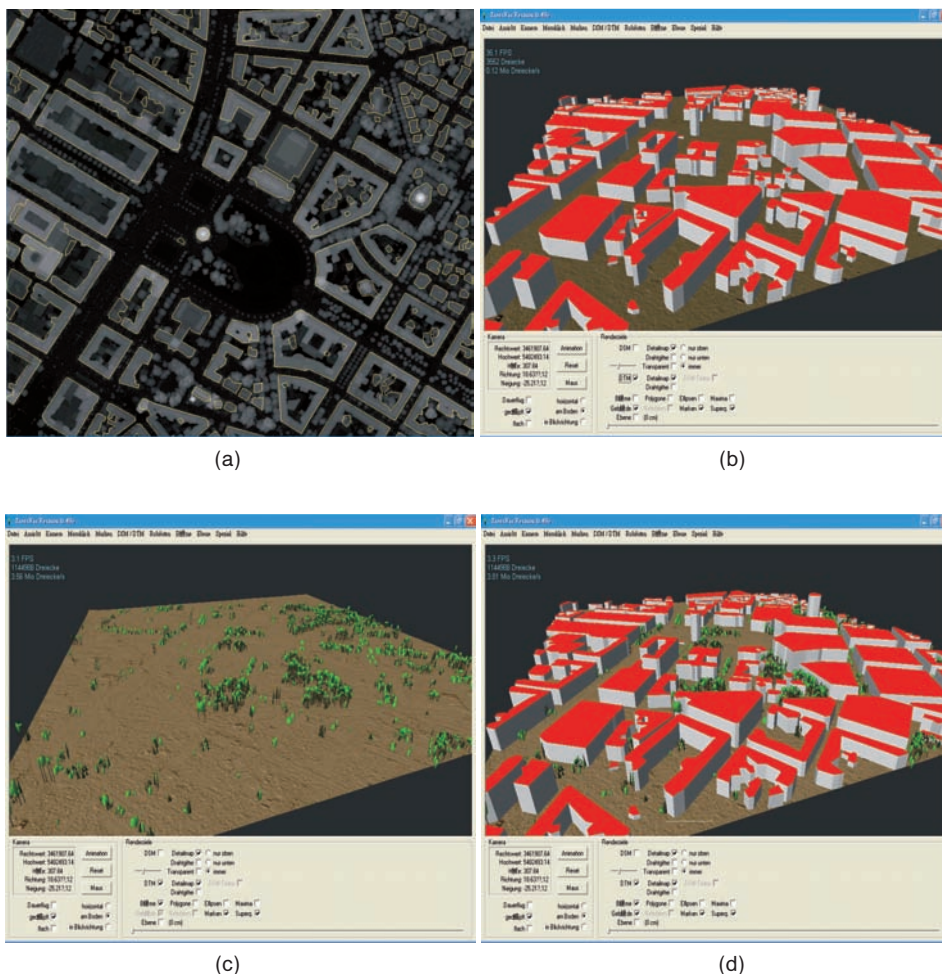


Fig. 10: (a) 2D building footprints; (b) 3D building block structure; (c) 3D single tree models; (d) extracted non-ground objects (b,c,d are visualized by Treesvis).

- within an acceptable distance, and the angle of their normal vectors is smaller than a threshold (the directions of two segments are similar).
- Add a new line segment, when the distance between the end point of first line and the start point of the second line is within an acceptable threshold distance, but there is a large angle between their normal vectors. The additional line segment use the end point of the first line as its start point and the start point of the second line as its end point.

- Check if all the line segments are conjunct as a rational polygon. Finally, a closed polygon has been generated as the 2D building outline. The data structure of the polygon is an aggregate of arcs (line segments) and points (end points of line segments).

5.3 3D building model reconstruction

A simple 3D building model can already be constructed by using the polygon as the primary building form and the average height

of the points within the polygon as the primitive height.

6 Conclusion

Height difference signals between first and last echo in a single measuring pulse of LIDAR can give an inspiring primitive structure of 2D building form, the problem is to confirm which of those height difference signals belong to one certain building, so the single building region must be detected from the data first.

Height threshold based on nDSM is the familiar method for building extraction before, but the calculation of DTM would have taken a higher priority in the research and consume more time than building detection itself. A method to extract buildings directly from DSM will make the things much easier, and the errors for building extraction, which caused by calculation of DTM or nDSM can be avoided. DSM image is segmented into several separated height homogenous regions by using a simple threshold on second deviation of it, then the regions are classified into grounds, buildings and trees with the help of the amount of the height difference signals inside them. The comparison between the detection of building regions according to the method described and visual observed buildings in the LIDAR and multispectral data, the outcome is quite precision, more than 90% of buildings are automatically well detected from the DSM image. The reason for losing building regions is false classification. The detected height homogenous regions for those lose building have been classified as ground objects caused by the weak DIFF signal records for these buildings. Since these building regions have been already separated from the DSM, it is possible to keep them by improving the classification method in the future.

Concentrate with a detected single building region, the height difference signals can now exert themselves to 2D building outline reconstruction. A least square line fitting procedure has been applied to these signals, after several post processing on the fitted

line segments, a final polygon for 2D building outline has been reconstructed. Such kind of polygon can deal with buildings of complex form such as triangular or ring based buildings, even the round or radian edges of buildings can be approximated with more arcs as parts of the building outline polygon. A problem is to find the precise building edge (Fig. 9, c), when the building is partly covered by a tree crown. The covered part will be lost and there will be a false assumption of the building edge based on the rest information. The other problem is that some detailed information, especially the marginal structure along the border, has been lost during the least square line fitting procedure. Finally, the building might be separated into different parts, if there is significant height difference within the building roof. There is a chance to solve these problems by the further investigations on LIDAR point clouds within a single building region directly.

The 2D building outline polygons can be used for a better result of DTM generation by extracting the point clouds within the building regions. They will also play an important role in next steps of 3D city model construction in the future. Rough 3D building models are already constructed with the 2D building outline polygon produced, more efforts are needed on the reconstruction of detailed roof structure of building by using point clouds within the building outline. Multi-spectral image is expected to support the detection of break lines within the roof area.

References

- BRENNER, C., 2000: Dreidimensionale Gebäuderekonstruktion aus digitalen Oberflächenmodellen und Grundrissen. – PhD Thesis, Institute of Photogrammetry, Stuttgart University, DGK-C 530.
- BRENNER, C., 2003: Building reconstruction from laser scanning and images. – Proc. ITC Workshop on Data Quality in Earth Observation Techniques, Enschede, The Netherlands, November.
- CHO, W., JWA, Y-S. et al., 2004: Pseudo-Grid Based Building Extraction Using Airborne

- LIDAR Data. – XXth ISPRS Congress, Istanbul, Turkey, July 12–23.
- ELBERINK, S.O. & MAAS, H.-G., 2000: The use of anisotropic height texture measures for the segmentation of airborne laser scanner data. – ISPRS, Vol. XXXIII, Amsterdam.
- HAALA, N. & BRENNER, C., 1999: Extraction of buildings and trees in urban environments. – ISPRS Journal Photogrammetry and Remote Sensing, **54**:130–137
- MAAS, H.-G. & VOSSELMAN, G., 1999: Two Algorithms for Extracting Building Models from Raw Laser Altimetry Data. – ISPRS Journal Photogrammetry and Remote Sensing, **54**: 153–163.
- MAAS, H.-G., 1999: The Potential of Height Texture Measures for the Segmentation of Airborne Laserscanner Data. – Presented at the 4th International Airborne Remote Sensing Conference, Ottawa, Canada, June 21–24.
- MATIKAINEN, L., HYYPPA, J. & HYYPPA, H., 2003: Automatic Detection of Buildings from Laser Scanner Data for Map Updating. – Proceedings of the ISPRS working group III/3, workshop ‘3D reconstruction from airborne laser scanner and InSAR data’. Dresden, Germany, October 8–10.
- MORGAN, M. & HABIB, A., 2002: Interpolation of LIDAR data and Automatic Building Extraction. – Proceedings of the ASPRS/ASCM Confer., Washington, D.C., USA, April 19–26.
- ROTTENSTEINER, F., 2002: LIDAR activities at the Viennese institute of photogrammetry and remote sensing. – 3rd International LIDAR Workshop, “Mapping Geo-Surficial Processes Using Laser Altimetry”, Ohio State University, Columbus, USA, October 7–9.
- ROTTENSTEINER, F., 2003: Automatic generation of building models from LIDAR data and the integration of aerial images. – Presentation: ISPRS working group III/3 workshop, Dresden; 10-08-2003 – 10-10-2003. – In: MAAS, H., VOSSELMANN, G. & STREILEIN, A. (ed.): 3-D reconstruction from airborne laserscanner and InSAR data. – International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences of the ISPRS, VOLUME XXXIV, PART 3/W13 (2003), ISSN 1682–1750, 174–180.
- VOEGTLE, T. & STEINLE, E., 2003: On the Quality of Object Classification and Automated Building Modelling Based on Laser Scanning Data. – Proceedings of the ISPRS working group III/3 workshop ‘3D reconstruction from airborne laser scanner and InSAR data’. Dresden, Germany, October 8–10.
- VOSSELMAN, G. & DIJKMAN, S., 2001: 3D Building model reconstruction from point clouds and ground plans. – Proceedings of the ISPRS workshop on Land Surface Mapping and Characterization Using Laser Altimetry, 22–24 October, Annapolis, Maryland. The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol XXXIV part 3/W 4 Commission III. ISSN 0246 1840, 37–44.
- VU, T.T. & TOKUNAGA, M., 2001: Wavelet and scalespace theory in segmentation of airborne laser scanner data. Presented at 22nd Asian Conference on Remote Sensing, Singapore, November 5–9.
- WEINACKER, H., KOCH, B. et al., 2004: Development of filtering, Segmentation and modeling modules for LIDAR and Multi-Spectral data as a fundament of an automatic forest inventory system. – Proceedings of the ISPRS working group on Laser-Scanners for Forest and Landscape Assessment, 03–06 October, Freiburg, Germany, The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVI part 8/W2, ISSN 1682–1750, 50–55.
- WEINACKER, H., KOCH, B. & WEINACKER, R., 2004: TREESVIS – A software system for simultaneous 3D-Real-Time visualization of DTM, DSM, Laser row data, Multi-spectral data, simple tree and building models. – Proceedings of the ISPRS working group on Laser-Scanners for Forest and Landscape Assessment, 03–06 October, Freiburg, Germany. The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVI part 8/W2, ISSN 1682–1750, 90–95.

Anschriften der Autoren:

Frau YUNSHENG WANG, M. Sc.
Tel.: 0761-203-3698, Fax: 0761-203-3701
e-mail: yunsheng.wang@felis.uni-freiburg.de

Dr. HOLGER WEINACKER
Tel.: 0761-203-3696, Fax: 0761-203-3701
e-mail: holger.weinacker@felis.uni-freiburg.de

Frau Prof. Dr. BARBARA KOCH
Felis Universität Freiburg
Tennenbacherstr. 4, 79106 Freiburg
Tel.: 0761-203-3694, Fax: 0761-203-3701
e-mail: Barbara.koch@felis.uni-freiburg.de

Manuskript eingereicht: Oktober 2005
Angenommen: Dezember 2005

Cooperative Disparity Estimation and its Improvement

HELMUT MAYER, Neubiberg

Keywords: mathematics, photogrammetry, stereo imagery, cooperative disparity estimation, evaluation, visualization

Summary: ZITNICK & KANADE (2000) proposed a cooperative approach for disparity estimation from stereo imagery based on support and inhibition in three-dimensional (3D) disparity space. We describe this approach and show how a significant improvement over the results of the evaluation reported for (ZITNICK & KANADE 2000) in (SCHARSTEIN & SZELISKI 2002) can be obtained by several means. The results of the evaluation of our approach are in the upper third in the online version of (SCHARSTEIN & SZELISKI 2002), while the numerical complexity compares favorably with other approaches. We have analyzed the different means for improvement including their performance gain. They comprise symmetric support, the combination of absolute differences and (normalized) cross-correlation weighted by the strength of the horizontal gradient, the use of auto-correlation to estimate the significance of a matching score, the preference for small disparities to obtain more meaningful results for occluded regions, and the enforcement of the alignment of disparity and image gradient. The parameters of these means are tuned with respect to given data sets. However, results using the same set of parameters with other images confirm, that our implementation is applicable to a wide range of imagery.

Zusammenfassung: *Kooperative Disparitätsschätzung und ihre Verbesserung.* ZITNICK & KANADE (2000) schlugen einen kooperativen Ansatz für die Disparitätsschätzung aus Stereobildern basierend auf Unterstützung und Hemmung im dreidimensionalen (3D) Disparitätsraum vor. Dieser Ansatz wird hier beschrieben und es wird gezeigt, wie durch verschiedene Maßnahmen eine signifikante Verbesserung gegenüber den Ergebnissen der Evaluierung erzielt werden kann, die für (ZITNICK & KANADE 2000) in (SCHARSTEIN & SZELISKI 2002) dargestellt wurden. Die Ergebnisse der Evaluierung des verbesserten Ansatzes befinden sich im oberen Drittel in der online-Version von (SCHARSTEIN & SZELISKI 2002), wohingegen die numerische Komplexität im Vergleich zu anderen Ansätzen vorteilhaft ist. Die verschiedenen Maßnahmen wurden mit besonderem Schwerpunkt auf der Verbesserung der Leistungsfähigkeit analysiert. Sie umfassen symmetrische Unterstützung, die Kombination von absoluten Differenzen und (normalisiertem) Kreuzkorrelationskoeffizienten gewichtet mit der Stärke des horizontalen Gradienten, die Nutzung von Autokorrelation, um die Signifikanz einer Zuordnungsstärke zu schätzen, die Bevorzugung von kleinen Disparitäten, um für verdeckte Regionen sinnvollere Ergebnisse zu erzielen, und zuletzt die Forcierung der gleichen Lage von Disparitäts- und Bildgradienten. Die Parameterwerte der Maßnahmen wurden auf gegebene Datensätze abgestimmt. Ergebnisse mit anderen Bildern, die denselben Satz von Parameterwerten verwenden, zeigen jedoch, dass die vorliegende Implementierung für eine große Bandbreite von Bildern geeignet ist.

1 Introduction

Image pairs are often “normalized” before dense matching by means of epipolar resampling (MCGLONE et al. 2004). Epipolar lines become the rows of the resampled image, meaning that only horizontal x-parallaxes termed “disparities” remain. In combination with the orientation and calibration of the cameras they alone determine the distances of the corresponding points from the cameras. The elimination of y-parallaxes allows for simplified matching schemes working on corresponding image rows only.

The estimation of disparities from stereo pairs has received considerable attention over the last decades. Yet, there is still not one or even a set of ‘gold standard’ approaches which can deal with a broad range of imagery. An excellent recent survey (SCHARSTEIN & SZELISKI 2002) has grouped existing approaches into a taxonomy. The assumption is, that matching algorithms perform all or several of the following four steps:

1. matching cost computation,
2. cost (support) aggregation,
3. disparity computation/optimization,
4. disparity refinement.

Typical matching costs are squared differences or absolute differences of gray values. Aggregation can be done as simple as summing up over a square window and disparity computation by determining the minimum matching cost at a position. For the (normalized) cross-correlation-coefficient, steps 1 and 2 are combined. Finally, global algorithms are based on explicit smoothness assumptions for the object surface which are solved by means of optimization. As the number of approaches is vast, we refer for the literature to (SCHARSTEIN & SZELISKI 2002), only introducing recent approaches and comparing them to our ideas and results.

SCHARSTEIN & SZELISKI (2002) have also introduced an evaluation metric as well as test data to compare different approaches. Together with a web page (<http://www.midd.lebury.edu/stereo/>) listing the results of all approaches for which results have been sub-

mitted under the constraint, that the same set of parameters have been used for all image pairs, and an ordering according to the performance, this has sparked competition and progress in the field.

ZITNICK & KANADE 2000, that our work is based on, refers to work proposed at the end of the seventies (MARR & POGGIO 1976, 1979). The basic idea is to employ explicitly stated global constraints on uniqueness and continuity of the disparities. While MARR & POGGIO (1976), (1979) have used two-dimensional (2D) regions to enforce continuity by fusing support among disparity estimates, ZITNICK & KANADE (2000) employ 3D support regions. Matching scores are calculated for a disparity range (search width) and then stored in a 3D array. This array is filtered with a 3D box-filter to obtain the local support for a match from all close-by matches. Assuming opaque, diffuse-reflecting surfaces, the uniqueness constraint requires that on one ray of view only one point is visible. This implies an inhibition which is realized by weighting down all scores besides the strongest. Support and inhibition are iterated. Thereby, information is propagated more globally. We have chosen (ZITNICK & KANADE 2000) because it can deal with strong occlusions and large disparity ranges and have extended it by the following means:

The smoothness of the output is improved by sub-pixel estimation. By a recursive implementation of the 3D box-filter we have sped up the computation. We determine the convergence automatically and employ symmetric support, considerably improving the results. As proposed by SCHARSTEIN & SZELISKI (2002), we combine for the matching scores cross-correlation with absolute differences, employing correlation particularly for horizontally textured regions. As we are looking for unambiguous matches, the matching scores are weighted down when there is repetitive texture determined by a special type of auto-correlation. It was found that, using color improves the result. As occluded regions have a smaller disparity than their occluding regions, we have introduced a small preference for smaller dispar-

ities. By combining image gradient and disparity gradient to control the amount of smoothing as proposed by ZHANG & KAMBHMETTU (2002), we avoid blurring disparity discontinuities and the elimination of narrow linear structures. Finally, determining occlusions and reducing the probabilities for large disparities in these regions is another means to obtain more meaningful, smaller disparities in occluded regions.

The paper which is an extension of MAYER (2003) is organized as follows. First we give a short account of cooperative disparity estimation as proposed by ZITNICK & KANADE (2000). Section presents the evaluation metric of SCHARSTEIN & SZELISKI (2002) and our results for the four image pairs obtained using one set of parameters. In Section 4 we present the means for improvement in more detail and we analyze them by assessing their performance gain. In Section 5 additional results are presented. The paper ends up with conclusions.

2 Cooperative Disparity Estimation

The main idea of ZITNICK & KANADE (2000) is a cooperation between support and inhibition (cf. Fig.). The support region is a 2D-region or usually a 3D-box. All matching scores in this box, derived, e. g., by (normalized) cross-correlation, corroborate to generate a disparity map which is locally continuous. When employing a 3D-box, also sloped regions are modeled, although only implicitly.

Inhibition enforces the uniqueness of a match. Assuming opaque and diffuse-reflecting surfaces, a ray of view emanating from a camera will hit the scene only at one point. The idea is to gradually weight down all matches on a ray of view besides the strongest. For a stereo pair there are two rays (cf. Fig., right). The matching scores are stored in a 3D array. Therefore, for the left image the ray of view is a column in the 2D-slice of width and disparity. Because we work in disparity and not in depth space, the ray of view of the right image consists of the 45° left-slanted diagonal through the pixel of interest. Putting everything together, the support S_n for a pixel at row r and column c with disparity d is defined as

$$S_n(r, c, d) = \sum_{(r', c', d') \in \Phi} L_n(r + r', c + c', d + d'), \quad (1)$$

with L_n the score for the preceding iteration and Φ the support region. The new score for iteration $n + 1$ is obtained as

$$L_{n+1}(r, c, d) = \left(\frac{S_n(r, c, d)}{\sum_{(r'', c'', d'') \in \Psi} S_n(r'', c'', d'')} \right)^\alpha * L_0(r, c, d) \quad (2)$$

with Ψ the union of the left and right inhibition region and α an exponent controlling the speed of convergence. α has to be chosen greater than 1 to make the scores converge to 1. The multiplication with the original matching score L_0 avoids hallucination in

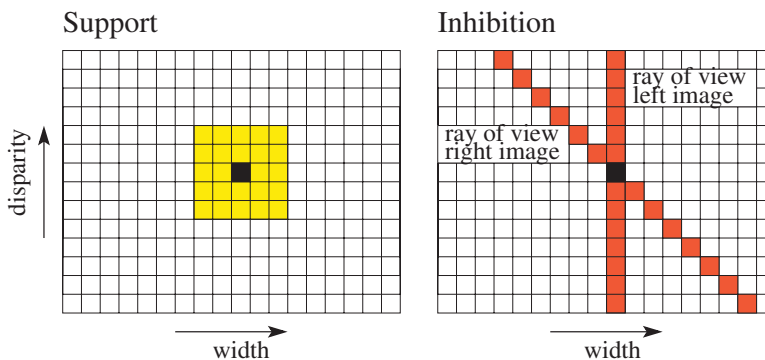


Fig. 1: Support and inhibition.

weak matching regions. Finally, for each pixel of the left image the disparity is chosen which has the maximum score. Practically, it is important to correct the inhibition value for the fact, that on the left and the right side of the image a number of pixels depending on the search width are not matched and, therefore, do not contribute to the inhibition.

3 Evaluation

For the evaluation we used the data and the code available at www.middlebury.edu/stereo (cf. Fig. 2) employing the search widths given there. The measures used in (SCHARSTEIN & SZELISKI 2002) and here comprise the number of bad pixels, i. e., pixels which are further away from the given ground truth map than a tolerance δ_d . As in (SCHARSTEIN & SZELISKI 2002), we also use $\delta_d = 1,0$ and the following measures:

- Bad pixels nonocc (all) – $B_{\bar{O}}$: % bad pixels in non-occluded regions. Used as overall performance measure.
- Bad pixels untextured (untext.) – $B_{\bar{T}}$: % bad pixels in untextured regions.
- Bad pixels discount (disc.) – $B_{\bar{D}}$: % bad pixels near discontinuities.

For sub-pixel estimation a parabola involving the matching scores of the voxels having a smaller ($d-1$) and larger ($d+1$) disparity than the given disparity for a pixel d (with $l_n(d) = L_n(r, c, d)$) is used ($-0,5 \leq \Delta d \leq 0,5$):

$$\Delta d = \frac{l_n(d+1) - l_n(d-1)}{2(l_n(d) - l_n(d+1) - l_n(d-1))} \quad (3)$$

The results presented in Figs 3 and 4, for Tsukuba and Map also compared to their ground-truth, give an indication of the quality obtained. Tab. 1 gives evaluation results which are in the upper third of the approaches presented in the online version of (SCHARSTEIN & SZELISKI 2002) at www.middlebury.edu/stereo. As required there, only one set of parameters given in Tab. 3 was used. We were ranked number three in the individual result page of the online version of (SCHARSTEIN & SZELISKI

2002) as of April 3, 2003 and are still number fourteen of forty as of August 21, 2005. Run time for all images is about 102 seconds on a 2.5 GHz PC. This time is better than those reported for the seventh (2706 seconds) and fifth (528 seconds) performing algorithms in (SCHARSTEIN & SZELISKI 2002). The times for Tsukuba, Sawtooth, Venus, and Map are 22, 28, 36, and 16 seconds, respectively.

Tab. 1: Percentage of bad pixels with all means for improvement included (right three columns: sub-pixel precise results).

				subpixel		
	all	untext.	disc.	all	untext.	disc.
Tsukuba	1.67	0.77	9.67	2.24	1.58	11.70
Sawtooth	1.21	0.17	6.90	0.72	0.03	6.82
Venus	1.04	1.07	13.68	0.78	0.68	10.66
Map	0.29	0.00	3.65	0.24	0.00	3.36

Tab. 2: RMS error with all means for improvement included (right three columns: sub-pixel precise results).

				subpixel		
	all	untext.	disc.	all	untext.	disc.
Tsukuba	0.83	0.63	1.74	0.87	0.56	1.90
Sawtooth	0.61	0.31	1.70	0.56	0.24	1.67
Venus	0.47	0.44	1.31	0.38	0.35	1.27
Map	0.99	0.42	3.44	0.94	0.26	3.36

Tab. 3: Parameters for the results in the figures and tables of this paper.

Size matching	$5 \times 5 \times 1$
Size support	$11 \times 11 \times 3$
Truncation Value	4 gray values
Threshold for convergence	$0.005 * search_width$
Threshold for mixing scores	45 gray values
Preference for larger disparities	$0.05 * search_width$
Number iterations for occlusion	2

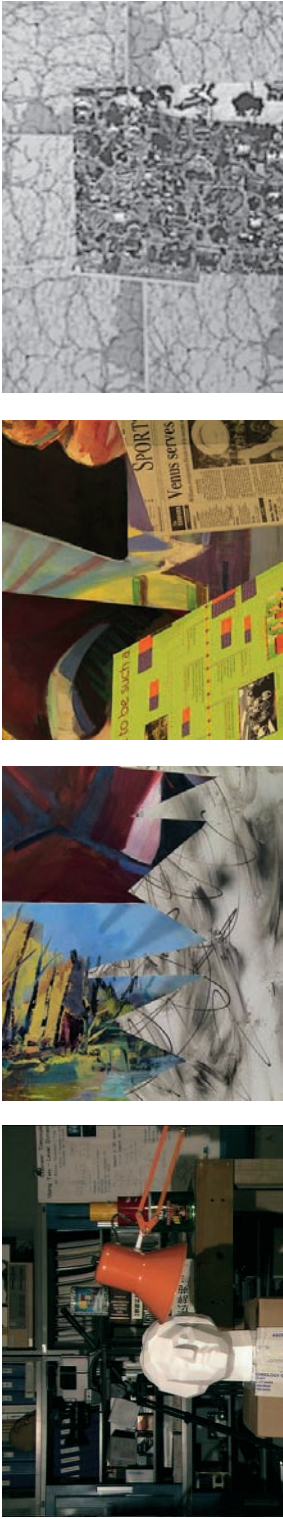


Fig. 2: Images (www.middlebury.edu/stereo) – from left to right: Tsukuba, Sawtooth, Venus, and Map.

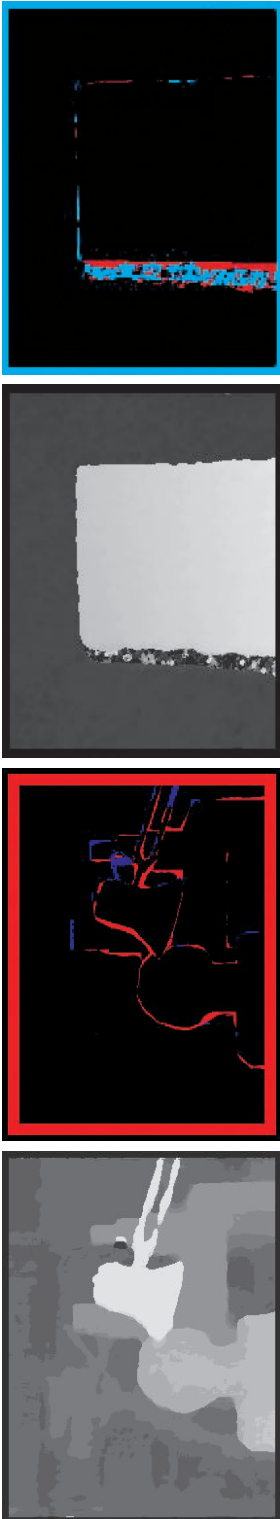


Fig. 3: Disparities and differences to ground truth for Tsukuba (left) and Map (right) – red: disparities more than 1 pixel too large; blue: disparities more than 1 pixel too small.

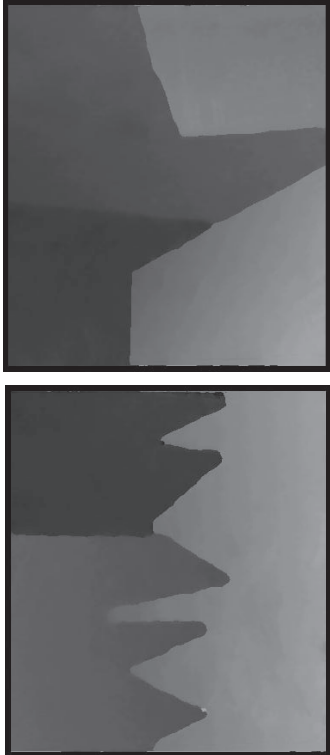


Fig. 4: Disparities for Sawtooth (left) and Venus (right) including sub-pixel estimation.

For the interpretation of the results with sub-pixel estimation, which were obtained with the same set of parameters as above, one has to consider, that while the ground-truth for Tsukuba is pixel precise, the ground-truth for the rest is sub-pixel precise. As the distance for the evaluation is fixed to one pixel and as we restrict $|\Delta d| \leq 0,5$, for Tsukuba sub-pixel estimation can only result into an equal or lower performance. For the other three images the performance can improve, as it does. The same is also true for the root mean square (RMS) error given in Tab. 2. Because the result for Tsukuba can only degrade for sub-pixel precise estimation, we concentrate on pixel precise disparity estimation for the rest of the paper.

4 Means for Improvement

In the remainder of the paper, we illustrate our means and show their performance gain. The two basic means presented in the first subsection only speed up the processing. The means are explained using Tsukuba as running example. Their gain is assessed in the final subsection by comparing the evaluation results when excluding the respective means from the processing to the result when all means are used.

4.1 Recursive 3D Box-filter and Convergence Determination

Filtering with a 3D box-filter based on simple summation is highly redundant. To

get rid of it, we use a standard recursive filter. We separate the filter into one-dimensional (1D) staffs and 2D sheets. By adding pixels on top of each other we generate staffs (cf. Fig.). From them we build sheets and finally from the sheets the box. The update is done recursively. To filter with a translated box, instead of adding sheets we add a (new) sheet on one side and subtract the (old) sheet on the other side. The same is done for the sheets and the staffs. By this means the complexity becomes independent of the size of the box.

The performance gain depends on the size of the 3D-box, but is considerably large for meaningful box sizes. For Tsukuba of size 384x288 pixels and a disparity range, i. e., search width of 15 pixels, one iteration of the simple algorithm takes on a 2.5 GHz PC 3.2 seconds for the 11 x 11 x 3 box. The separated algorithm needs only 0.10 seconds. It is interesting to compare this with the times for the inhibition. For Tsukuba inhibition takes 0.30 seconds per iteration. If one substitutes the square, i. e., $\alpha = 2$, for the general exponential, it reduces to 0.13 seconds. Because we found that this gives also the best results in nearly all cases, we have used $\alpha = 2$ in our experiments.

The meaningful number of iterations varies for different images. It proved useful to decide about the number of iterations by convergence determination. For the latter also one parameter is needed, but empirical investigations have shown that it is relatively independent of the images at hand. To

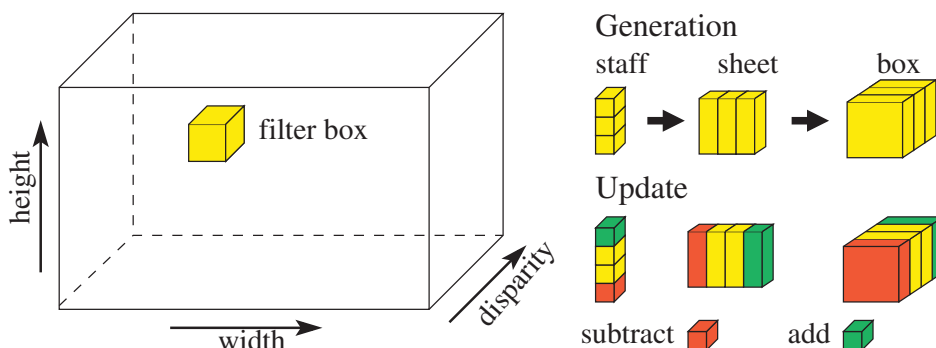


Fig. 5: Recursive filtering for $3 \times 3 \times 3$ box: Generation and update.

determine the convergence, we compute the difference image between the disparity maps from the last two iterations and compute the standard deviation σ . Empirically we found, that a good threshold for σ is 0.005 of the search width. This results in 34 iterations for Tsukuba, 23 for Sawtooth, 30 for Venus, and 28 for Map.

4.2 Symmetric Support and Combination of Absolute Differences and Correlation

Fig. 1, right, showing the diagonal inhibition, gives a hint, that a box-shaped support as in Fig. might not be optimum. Our experiments have shown, that a symmetric support, where a box and a tilted box are added as shown in Fig., considerably improves the performance. Also the tilted box is implemented recursively by adding/subtracting staffs from the box.

As suggested by SCHARSTEIN & SZELISKI (2002), we have based the correlation scores on absolute differences. Experiments showed that the performance for squared differences was in nearly all cases worse than for absolute differences. For the absolute differences, we truncate the difference value with *trunc*. The matching score for absolute differences is $score_{abs_diff} = 1 - abs_diff / trunc$, with $0 \leq score \leq 1$.

When looking at results based on (normalized) cross-correlation compared to results where absolute differences have been employed, we got the idea, that the failure

modes seemed to be different and that it might be useful to combine both. The combination is done by

$$score_{comb} = \frac{score_{abs_diff} + weight * score_{corr}}{1 + weight} \quad (4)$$

with

$$weight = \frac{horiz_grad}{threshold_for_mixing_scores} \quad (5)$$

A large horizontal gradient *horiz_grad* (cf. Fig. 7 left) increases the probability for a good match for cross-correlation, because cross-correlation works best for strongly textured regions and the matching is done in horizontal direction for the normalized image pairs.

In addition to the combination, a special type of auto-correlation *auto_corr* (cf. Fig. 7 right) is used to indicate potentially false matches. It is determined as the maximum value of correlation along the horizontal line ranging from outside the matching window to the search width. If this auto-correlation

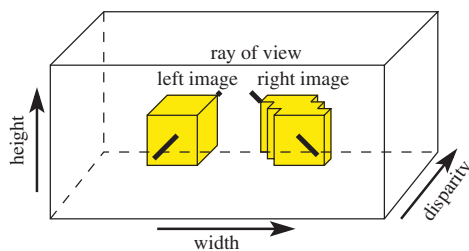


Fig. 6: Symmetric support.



Fig. 7: Horizontal gradient (left); Maximum auto-correlation along the horizontal line ranging from outside the matching window to the search width (right).

is large, it means that there are similar structures, i. e., repetitive textures, already in the reference image and, therefore, the match is highly likely to be ambiguous also in the other image. The auto-correlation is used to weight down the matching score by $score = score * (1 - 0.5 * auto_corr)$. Both, horizontal gradient and auto-correlation are smoothed with a Gaussian filter.

4.3 Use of Color and Preference for Smaller Disparities

For color images we take the average of the individual results for the three colors for absolute differences. As we found, that color does not help too much for correlation, we correlated only the average images of the colors.

As noted in (ZHANG & KAMBHAMETTU 2002), there is a tendency of the cooperative approach to fatten regions with larger disparities. We counteract this by reducing the matching scores by (d is disparity)

$$score_{red} = score * \left(1 - \frac{d * preference}{search_width} * (1 - 0.5 * auto_corr)\right) \quad (6)$$

This is motivated as follows: Occluded regions must have a smaller disparity than their occluding regions. As there is no correct matching possible for occlusions, introducing a slight bias towards smaller disparities increases the probability, that occluded regions obtain correct, smaller disparities.

For *preference*, a value of 0.05 was found suitable empirically. By reducing the matching score, there is a tendency for regions with a large auto-correlation (cf. above) to obtain a wrong, too small disparity value. Therefore, we reduce the preference with the same factor as above.

4.4 Enforcement of the Alignment of Image and Disparity Gradients

In many cases the materials or surface characteristics are considerably different at both sides of a disparity discontinuity or the disparity continuity casts a dark shadow. This results in a typical alignment of large disparity gradients with strong image gradients. While in (ZHANG & KAMBHAMETTU 2002) the image is segmented into several regions and the support is restricted to these regions, we take a more conservative policy. Additionally to the support size given in Tab. 3 (box_{supp_size}) we smooth the image with a 3×3 box filter (box_{333}) and mix the results according to the combined strength of $gradient_{comb} = gradient_{image} * gradient_{disparity} / 255$. This combined gradient is then smoothed by a Gaussian filter. Both gradients are determined as absolute values by 3×3 Sobel-filters and scale from 0 to 255. An adequate weight and threshold was empirically found to be the combination of the combined gradient with half the search width:

$$weight = \frac{gradient_{comb}}{0.5 * search_width} \quad (7)$$

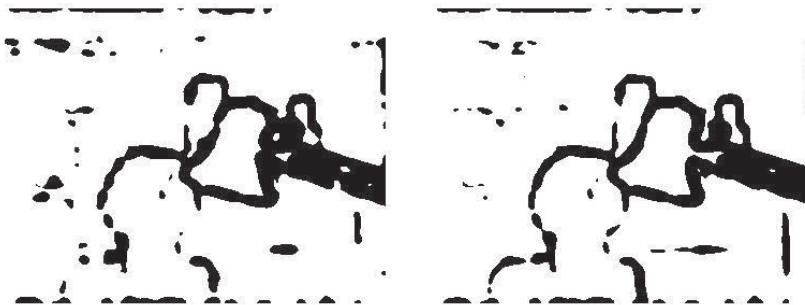


Fig. 8: Regions where the smoothing of the image function is reduced (black) due to large image and disparity gradients after 5 (left) and after 30 (right) iterations.

We truncate values below 1. The combined blurring reads

$$r(box_{comb}) = \frac{r(box_{sup.p.size}) + weight * r(box_{333})}{1 + weight} \quad (8)$$

where $r(box_{xxx})$ stands for the result of filtering with the respective box-filter. The smaller box_{333} is only employed for values above the half search width. As can be seen, the regions with reduced smoothing fit better to the actual disparity continuities after convergence (right).

4.5 Determination of Occlusions and Sharpening of Disparity Discontinuities

The tendency to estimate too large disparities (cf. also Section 4.3) is especially true for occluded regions. EGNAL & WILDES (2002) describe different approaches to determine occlusions. We use one of these approaches and reduce the probability of larger disparities for occluded regions, for which no matching is possible, and which must have a smaller disparity than their occluding regions. The determination of occlusions works best, when the result is already cleaned from gross errors. Empirically, the optimum procedure was found to let the basic algorithm converge first, and then to multiply $L_0(r, c, d)$ by $(search_width - d) / search_width$. This reduces the energy or probability of the original matching scores for larger disparities. They influence the process via equation (2). The reduction of the original matching scores is done several times. For the experiments in this papers it is done two times. After the reduction, the algorithm runs until σ falls again below the given threshold for convergence.

Because the disparities are already smooth when the algorithm has converged for the first time, it is sufficient to compute an indication for an occluded region by what EGNAL & WILDES (2002) term occlusion constraint. Here it is determined by the predicate $((d - d_{occ}) + (c - c_{occ})) < 0$. d and c are the disparity and the column coordinate of the point under investigation. d_{occ}



Fig. 9: Occluded regions at convergence.

and c_{occ} are the disparity and the column coordinate of the preceding point when starting from the left side of the image if no occluding point was found yet. If an occluding point was found, it is only updated to be the preceding point, when the above predicate is not true any more. To obtain compact regions, morphological opening and closing with circular structuring elements with a radius of 2.5 pixels are used. In Fig. the occlusions determined for the final convergence of the algorithm are shown.

4.6 Assessment of the Gain of the Means

Tab. 4 gives in the first row as reference the results when all means are employed. In the other rows results which are considerably worse than the reference are shown in bold, while results which are considerably better are marked in italics.

For the symmetric support in the second row the result is clear-cut. Apart from the untextured regions in Venus, there is an improvement nearly everywhere. The third row shows the results for absolute differences only, with the optimum truncation value of 4 gray values. As can be seen, the performance gain is considerable for the combination for all images besides Tsukuba. Our interpretation of this is as follows: Absolute differences make use of brightness differences even for weakly textured regions. This is useful only for constant lighting conditions, similar viewing angles, and well-behaved reflection functions. Yet, it is an advantage compared to (normalized) correla-

Tab. 4: Comparison of Different Means for Improvement: Percentage of bad pixels of results without using the respective means (worse results are marked in bold and better results in italics).

Means	Tsukuba			Sawtooth			Venus			Map		
	all	untex.	disc.	all	untex.	disc.	all	untex.	disc.	all	untex.	disc.
everything included	1.67	0.77	9.67	1.21	0.17	6.90	1.04	1.07	13.68	0.29	0.00	3.65
no symmetric support (4.2)	2.06	1.19	11.90	1.49	0.43	10.29	0.97	<i>0.67</i>	14.67	0.39	0.00	4.63
absolute differences only (4.2)	1.73	0.69	9.84	1.42	0.20	6.97	1.32	1.14	<i>10.38</i>	2.53	1.19	16.82
without use of auto-correlation (4.2)	1.99	1.01	11.42	1.22	0.16	6.82	1.17	1.37	15.34	0.29	0.00	3.68
no color used (4.3)	2.15	1.14	12.39	1.40	0.44	7.01	<i>0.82</i>	<i>0.71</i>	<i>10.16</i>	0.29	0.00	3.65
no preference for small disparities (4.3)	2.05	1.18	11.78	1.23	0.19	7.06	1.18	1.34	14.24	0.27	0.00	3.24
no alignment of gradients (4.4)	2.82	1.53	16.07	1.20	0.18	6.92	1.08	1.09	13.80	0.51	0.24	6.63
no occlusion modeling (4.5)	1.67	0.77	9.67	1.22	0.17	6.87	1.05	1.10	13.76	0.39	0.71	3.68

tion which is invariant to differences in brightness and contrast. Correlation can therefore produce a high score when matching a smooth bright to a smooth or even textured dark region when the weak texture happens to be similar, even though this is practically implausible. On the other hand, by restricting ourselves to relatively small truncation values, we do not make full use of heavily textured regions by absolute differences, where correlation works best.

From the fourth row it can be seen, that auto-correlation helps, though mostly for Tsukuba and Venus. Both have strong repetitive textures in the form of the books for Tsukuba and the rows of letters for Venus. The fifth row shows, that color is helpful. Yet, for Venus there is still ample room for improvement. This might stem from the fact, that Venus is partly relatively greenish and we only sum up the color information without weighting it according to contrast. From the sixth row one can see that no preference for small disparities results in a noticeable degradation of the overall results especially for Tsukuba, while for Map there is only a small improvement and for the other images there is none. The improvement by means of the enforcement of the alignment of image and disparity gradient in the sixth row is extremely large for Tsukuba and considerable for Map. Modeling occlusion in the last row only helps for Map. Yet, the importance of this means is still not absolutely clear.

5 Additional Results

To show, that our means for improvement and the set of parameters used are not only valid for the data set at www.middlebury.edu/stereo, we experimented with other image pairs with the same set of parameters given in Tab. 3. The only modification was to make the absolute differences invariant against a different average brightness of the image windows. This had to be done, because, opposed to the data set at www.middlebury.edu/stereo, many other image pairs have a significantly different gray value for homologous windows.

For the image pair Sport (cf. Fig. 10) from INRIA's Syntim image database one can see, that the approach works reasonably well for a relatively large disparity range (45 pixels search width for the epipolar resampled image Sport reduced to 267 x 271 pixels). The image pair Kitchen (cf. Fig. 11) stems from <http://research.microsoft.com/virtuamsr/virtuatur.html> (ANTONIO CRIMINISI & PHIL TORR). The results show the high quality achievable with the improved approach. Similar results were obtained also for a large number of other images.

6 Conclusions

Ranking our results in the frame of the online version of SCHARSTEIN & SZELISKI (2002) at www.middlebury.edu/stereo shows, that we have obtained a relatively



Fig. 10: Image pair Sport from INRIA's Syntim image database, result (occluded regions in red) with the same set of parameters as in Tab. 3 (left) and visualization (occluded regions in black).



Fig. 11: Image pair Kitchen from web page TORR & CRIMINISI, result, and visualization; occlusions and set of parameters cf. Fig. 10.

good performance also compared to the run time of our algorithm. On one hand, we have fine-tuned our approach for an optimum performance with the given data set. On the other hand, the last section has shown, that we obtain reasonable results also for other image pairs using the same set of parameters.

The results reported in SUN et al. (2002) are partly better than that presented in this paper. Though, it takes 288 seconds on a 500 MHz PC for Tsukuba, i. e., more than double as long as ours when scaled to 2.5 GHz. Graph cuts (BOYKOV et al. 2001, KOLMOGOROV & ZABIH 2001) with and without the handling of occlusions also have a similar or better performance than our algorithm especially in combination with the fast max-flow algorithm. Yet, an interesting question would be if it might be possible to reach an improvement by some of our means for these algorithms. Especially the combination of correlation and absolute differences as well as using the auto-correlation function to characterize probably unreliable regions with repetitive texture might be fruitful in terms of performance as well as speed. ZHANG & KAMBHAMETTU (2002) has an advantage for depth discontinuities due to a more advanced modeling of the image function, but also it could possibly benefit from our more wide range of means of improvements.

Ways to proceed are for instance the use of more images as in KOCH et al. (1999), KOLMOGOROV & ZABIH (2002), where merging of pairs is done in object space based on relaxation, or to locally optimize the window size and shape (VEKSLER 2002). We have started to project the results into a third image by means of the trifocal tensor to obtain more evidence via cross-correlation especially for occluded regions. Finally, recent approaches such as STRECHA et al. (2003, 2004) resemble the multi-image least squares matching approaches of EBNER et al. (1987) and WROBEL (1987). We are right now working in this area taking as a basis a large number of highly reliable points from automatic 3D reconstruction, e. g., MAYER (2005), as in LHULLIER & QUAN

(2002), to initialize the optimization of the surface.

Acknowledgement

We thank the anonymous reviewer for their helpful comments.

References

- BOYKOV, Y., VEKSLER, O. & ZABIH, R., 2001: Fast Approximate Energy Minimization via Graph Cuts. – IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence **23** (11): 1222–1239.
- EBNER, H., FRITSCH, D., GILLESSEN, W. & HEIPKE, C., 1987: Integration von Bildzuordnung und Objektrekonstruktion innerhalb der digitalen Photogrammetrie. – *Bildmessung und Luftbildwesen* **5/87**: 194–203.
- EGNAL, G. & WILDES, R., 2002: Detecting Binocular Half-Occlusions: Empirical Comparison of Five Approaches. – IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence **24**(8): 1127–1133.
- KOCH, R., POLLEFEYS, M. & VAN GOOL, L., 1999: Robust Calibration and 3D Geometric Modeling from Large Collections of Uncalibrated Images. – *Mustererkennung 1999*, Springer-Verlag, Berlin, Germany, 413–420.
- KOLMOGOROV, V. & ZABIH, R., 2001: Computing Visual Correspondence with Occlusions Using Graph Cuts. – Eighth International Conference on Computer Vision, 508–515.
- KOLMOGOROV, V. & ZABIH, R., 2002: Multi-Camera Scene Reconstruction via Graph Cuts. – Seventh European Conference on Computer Vision, Volume III, 82–96.
- LHULLIER, M. & QUAN, L., 2002: Match Propagation for Image Based Modeling and Rendering. – IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence **24** (8): 1140–1146.
- MARR, D. & POGGIO, T., 1976: Cooperative Computation of Stereo Disparity. – *Science* **194**: 209–236.
- MARR, D. & POGGIO, T., 1979: A Computational Theory of Human Stereo Vision. – *Proceedings Royal Society London B*, **204**: 301–328.
- MAYER, H., 2003: Analysis of Means to Improve Cooperative Disparity Estimation. – *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume (34) 3/W8, 25–31.
- MAYER, H., 2005: Robust Least Squares Adjustment Based Orientation and Auto-Calibration of Wide-Baseline Image Sequences. – *ICCV* –

- ISPRS Workshop Towards Benchmarking Automated Calibration, Orientation, and Surface Reconstruction from Images.
- MCGLONE, J., BETHEL, J. & MIKHAIL, E., 2004 (Ed.): *Manual of Photogrammetry*. – American Society of Photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda, USA.
- SCHARSTEIN, D. & SZELISKI, R., 2002: A Taxonomy and Evaluation of Dense Two-Frame Stereo Correspondence Algorithms. – *International Journal of Computer Vision* **47**(1): 7–42.
- STRECHA, C., FRANSEN, R. & VAN GOOL, L., 2004: Wide-Baseline Stereo from Multiple Views: A Probabilistic Account. – *Computer Vision and Pattern Recognition*, 552–559.
- STRECHA, C., TUYTELAARS, T. & VAN GOOL, L., 2003: Dense Matching of Multiple Wide-Baseline Views. – *Ninth International Conference on Computer Vision*, Volume II: 1194–1201.
- SUN, J., SHUM, H.-Y. & ZHENG, N.-N., 2002: Stereo Matching Using Belief Propagation. – *Seventh European Conference on Computer Vision*, Volume II, 510–524.
- VEKSLER, O., 2002: Stereo Correspondence with Compact Windows via Minimum Ratio Cycles. – *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* **24** (12): 1654–1660.
- WROBEL, B., 1987: Digitale Bildzuordnung durch Facetten mithilfe von Objektraummodellen. – *Bildmessung und Luftbildwesen* **3/87**: 129–140.
- ZHANG, Y. & KAMBHAMETTU, C., 2002: Stereo Matching with Segmentation-Based Cooperation. – *Seventh European Conference on Computer Vision*, Volume II, 556–571.
- ZITNICK, C. & KANADE, T., 2000: A Cooperative Algorithm for Stereo Matching and Occlusion Detection. – *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* **22**(7): 675–684.

Anschrift des Autors:

Prof. Dr.-Ing. HELMUT MAYER
Universität der Bundeswehr München, Institut
für Photogrammetrie und Kartographie, D-85577
Neubiberg
Tel.: +49-89-6004-3429, Fax: -6004-4090
e-mail: Helmut.Mayer@unibw.de

Manuskript eingereicht: Oktober 2005

Angenommen: Dezember 2005

Berichte

42. AgA – Tagung

am 12./13. September 2005 in Wien

Die 42. Tagung der Arbeitsgruppe „Automation in Kartographie, Photogrammetrie und GIS“ (AgA) fand am Österreichischen Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV) in Wien statt und somit erstmals außerhalb Deutschlands. Die Leiterin der AgA, Prof. MONIKA SESTER, führte – unterstützt von JOACHIM BOBRICH – durch das abwechslungsreiche Programm.

Vor dem eigentlichen Beginn der Sitzung wurden die etwa 40 Teilnehmer vom Hausherrn, Präsident Dipl.-Ing. AUGUST HOCHWARTNER, sowie dem Leiter der Abteilung Kartographie, Dipl.-Ing. VIKTOR ZILL, freundlich willkommen geheißen. Nach der Diskussion der vorliegenden sieben schriftlichen Tätigkeitsberichte begann der Hauptteil der Veranstaltung, die Präsentation der Vorträge. Zunächst berichteten ROBERT LÖRKS von der AED-SICAD AG bzw. PETER LADSTÄTTER von der ESRI Geoinformatik GmbH in Kurzreferaten über die letzten Neuentwicklungen in beiden Firmen. Im Anschluss daran wurden insgesamt 16 Beiträge, gegliedert in vier Themenbereiche präsentiert, die wie auch die Firmenreferate von der AgA-Homepage heruntergeladen werden können (<http://www.ikg.uni-hannover.de/aga/>).

Wie seit 1998 üblich, werden die schriftlichen Ausarbeitungen im folgenden Jahr in den „Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie“ veröffentlicht.

Den ersten Themenblock „Geodateninfrastrukturen, -portale und Geodatenmodelle (AAA)“ eröffnete CHRISTIAN LÖFFELHOLZ, der über Auswirkungen der „INSPIRE“-Initiative auf die deutsche Landesvermessung und die Geodateninfrastrukturen von Bund und Ländern berichtete. BETTINA PETZOLD stellte unterschiedliche Kartenpräsentationen und bereits implementierte Sicherheitsmechanismen im Wuppertaler Umwelt- und Geodatenportal vor. Die Vorteile der AAA-Modellierung für digitale topographi-

sche Karten aus dem ATKIS, die zu tagesaktuellen Raster-, Vektor- und Metadaten führen wird, standen im Mittelpunkt des Beitrages von FRIEDRICH CHRISTOFFERS. Abschließend zeigte AJAY MATHUR, wie mit dem kartographischen GIS „axpand“ auf der Basis einer Multirepräsentationsdatenbank mittels automatischer Generalisierung bzw. Fortführung die Datenintegration im Sinne des AAA-Konzepts erreicht werden kann.

Im zweiten Themenblock „Digitale Geländemodelle“ erläuterte MARIA ATTWENGER, wie sich durch den Einsatz von Aufnahmen aus flugzeuggetragenen Laserscannern über die Ableitung von Gelände- und Intensitätsmodellen Vorteile bei der Kartierung von Feldwegen erzielen lassen. INGO KRUSE berichtete über die Auswahl des günstigsten Aufnahmeverfahrens für einen Golfplatz (unter den gegebenen Bedingungen DGPS), den Aufbau eines Golfplatzinformationssystems (GOLFIS) sowie dafür benötigte Visualisierungen. Im dritten Beitrag referierte DOMINIK LENHART über mittels airborne Laserscanning generierte hochgenaue DGMS vom vergletscherten Hochgebirge und ihre hervorragende Eignung für Gletschermonitoring.

Der Themenbereich „XML“ beinhaltete ebenfalls drei Vorträge. JÖRG BLANKENBACH bot einen Überblick über Eigenschaften und mögliche Einbindungen von SVG in mobile Anwendungen und Dienste. KARL NEUMANN stellte in seinem Beitrag die Einsatzmöglichkeit von XSLT für die richtige Verdrängung, Platzierung und Visualisierung von Punktsignaturen (in diesem Fall von Bäumen entlang von Straßen) vor. Die Bedeutung von GML-Profilen für die Entwicklung von Anwendungsschemata und Softwarekomponenten sowie für bestimmte Nutzergruppen stand im Mittelpunkt der Ausführungen von STEFAN STROBEL.

Sechs und somit die meisten Beiträge umfasste der abschließende Themenblock „Algorithmen und Werkzeuge“. Zuerst berichtete PATRICK LÜSCHER von seiner Diplommar-

beit, in der es um den Aufbau einer Multi-repräsentationsdatenbank aus dem Straßennetz der beiden Datensätze VECTOR25 und VECTOR200 mittels automatischer Matching-Methoden geht. Anschließend sprach JOACHIM BOBRICH über die Integration von Daten, die zwar ein identisches Raumbezugssystem besitzen, aber auf einer unterschiedlichen geometrischen Grundlage (z. B. Maßstab, Generalisierungsgrad, ...) erfasst wurden. PETER LADSTÄTTER präsentierte neue GIS-Werkzeuge für den kartographischen Produktionsprozess, wie beispielsweise das PLTS (Production Line Tool Set) und neue Möglichkeiten in ArcGIS 9.2. Um die Extraktion von Landmarken für die Navigation mit Hilfe von Data Mining und Sichtbarkeitsanalysen und unter Einbeziehung von Geobasisdaten (ALK) ging es im Beitrag von BIRGIT ELIAS. Wie durch Modellgeneralisierung des DLMS von Großbritannien (OS Master Map) große Vorteile bei der auf Satellitendaten basierenden Fortführung von Bodenbedeckungskarten erreicht werden konnten, erläuterte DIETER NEUFFER. Mit seiner Präsentation von Ergebnissen des Projekts DRIVE über die automatische Ableitung von Stadtplänen aus großmaßstäbigen Vermessungsdaten beschloss INGO PETZOLD den vierten Themenblock.

Zum Abschluss der Tagung wurden alternativ zwei Führungen angeboten. Eine zum Thema „ViennaGIS“ in der Magistratsabteilung 14 der Stadt Wien und eine zum Thema „Digitale Photogrammetrie“ im BEV.

Für den erfolgreichen Verlauf der 42. AgA-Tagung sei den Gastgeber, insbesondere Herrn ZILL und seinem Team für die herzliche Aufnahme und die ausgezeichnete Organisation vor Ort gedankt. Ebenso gilt der Dank natürlich den involvierten Personen vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie und vom Institut für Kartographie und Geoinformatik der Universität Hannover. Zuletzt noch der Hinweis auf die 43. AgA-Tagung, die am 18. und 19. September 2006 am Hasso-Plattner-Institut in Potsdam stattfinden wird.

STEPHAN ANGSÜSSER, München

10th International Conference on Computer Vision des IEEE

vom 15. bis 21. 10. 2005 in Peking, China

Das IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) veranstaltete die zehnte ICCV (International Conference on Computer Vision, <http://research.microsoft.com/iccv2005/>) in Peking. Die alle zwei Jahre stattfindende eingeleisige Konferenz gehört zu den bedeutendsten Veranstaltungen im Bereich Computer Vision, die von nahezu 900 Teilnehmern besucht wurde. Um eine hohe Qualität zu sichern, wurde jeder der ca. 1200 eingereichten Beiträge „doppelt blind“ von je drei Experten gelesen und anonym beurteilt. Darauf aufbauend wurden nur die 244 besten für die Präsentation ausgewählt.

Der im Rahmen der Veranstaltung vergebene *Marr-Preis* ging an FREDERIK KAHL und DIDIER HENRION für ihre Arbeit *Globally Optimal Estimates for Geometric Reconstruction Problems*. Weitere drei Preise wurden vergeben an KIRIAKOS N. KUTULAKOS und ERON STEGER für die Arbeit *A Theory of Refractive and Specular Shape by Light-Path Triangulation*, an OREN BOIMAN und MICHAL IRANI für die Arbeit *Detecting Irregularities in Images and in Video* sowie an STEFAN ROTH und MICHAEL J. BLACK für die Arbeit *On the Spatial Statistics of Optical Flow*.

Im Zusammenhang mit der Konferenz fanden vorher und nachher mehrere Workshops und Kurse statt. Insbesondere veranstalteten dieses Jahr die Arbeitsgruppen III/1 und III/2 der ISPRS (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing) in Zusammenarbeit mit dem IEEE am 15. 10. 2005 einen Workshop zum Thema *Towards Benchmarking Automated Calibration, Orientation and Surface Reconstruction from Images* (<http://www.ipf.tuwien.ac.at/isprs/wgiii1/ws2005-wg12.html>). Die Auswahl der Beiträge fand nach demselben Modus wie bei der Hauptkonferenz statt und es gab einen eingeladenen Vortrag von Prof. WOLFGANG FÖRSTNER.

Im Vorfeld der Konferenz fand außerdem ein Wettbewerb (<http://research.microsoft.com/iccv2005/Contest/>) statt, in dem die

verschiedenen im Bereich vollautomatische Orientierung arbeitenden Gruppen nach genau festgelegten Regeln gegeneinander antreten konnten. Das Team von der George Mason Universität, das für ein vollständig neues Bild ohne manuelles Eingreifen am präzisesten die Aufnahmeposition angeben konnte, war der Gewinner.

Trotz der großen Relevanz des gesamten Bereiches Computer Vision und Mustererkennung für die Photogrammetrie und Fernerkundung sowie der hohen Qualität

der Veranstaltung war die Beteiligung durch Vertreter der Photogrammetrie leider sehr gering.

Vom 7. bis 13. 5. 2006 findet in Graz die europäische Schwesterveranstaltung ECCV (European Conference on Computer Vision, <http://eccv2006.tugraz.at/>) statt. Die nächste ICCV wird 2007 in Rio de Janeiro, Brasilien, die übernächste 2009 in Kyoto, Japan, stattfinden.

CHRISTIAN BEDER, Bonn

Mitteilungen der DGPF

DGPF-Nachwuchsförderpreis 2006

Der DGPF-Nachwuchsförderpreis ist ein Preis zur Förderung des wissenschaftlich-technischen Nachwuchses auf den Gebieten der Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation und ihrer Nachbarbereiche. Hierbei sollen herausragende Diplom-, Bachelor, Master- und andere Studienarbeiten ideell gewürdigt, finanziell honoriert und einer größeren Öffentlichkeit bekannt gemacht werden. In jedem Jahr werden drei Preise – jeweils bestehend aus einem Preisgeld (bis zu 1.000 €) und einer Urkunde – vergeben.

Die Bewerber müssen eine Kurzfassung ihrer Arbeit, ein öffentlichkeitswirksames Poster sowie ein kurzes Gutachten des betreuenden Hochschullehrers bei der Geschäftsstelle der DGPF einreichen. Abgabeschluss ist der 1. Juni 2006.

Nähere Informationen geben der vollständige Ausschreibungstext, der im PFG-Heft 7/2005, S. 574/575 enthalten ist oder auf der Website des DGPF-Arbeitskreises „Ausbildung“ abgerufen werden kann: <http://www.fzg.uni-osnabrueck.de/dgpf>.

Ankündigung: GIS-Ausbildungstagung 2006

Nach der erfolgreichen Erstausgabe (siehe Bericht in PFG 5/2005, S. 441/442), wird es auch 2006 wieder eine GIS-Ausbildungstagung geben. Ziel der Veranstaltung am 11. und 12. Mai am GFZ in Potsdam ist es, Aus- und Weiterbildungsthemen im Umfeld des Geoinformationswesens und der Geoinformatik fächerübergreifend zu diskutieren und Erfahrungen auszutauschen.

Die Veranstaltung wird in Form von Vorträgen (mit Impulsreferaten eingeladener Redner), Postern und Rechnerdemos abgehalten und durch eine Firmenausstellung (zu Angeboten von Lernmaterialien etc.) ergänzt. Folgende Themenschwerpunkte werden behandelt:

- Einführung in die Bachelor- und Master-Studienprogramme,
- neue E-Learning-Initiativen für die Geoinformatik und praktischer Einsatz in der Aus- und Weiterbildung,
- berufliche Weiterbildung mit GIS und
- GIS an Schulen.

Die Teilnahmegebühr beträgt wie im Vorjahr 35 €. Nähere Informationen unter: <http://gis.gfz-potsdam.de>

JOCHEN SCHIEWE, Osnabrück

Hochschulnachrichten

Universität der Bundeswehr München

Frau Dipl.-Ing. **ANDREA FORBERG** promovierte im März 2005 an der Universität der Bundeswehr München mit der Arbeit: „*Generalisierung dreidimensionaler Gebäudedaten auf der Basis von Maßstabsräumen*“ zum Dr.-Ing.

1. Gutachter: Prof. Dr. HELMUT MAYER, Universität der Bundeswehr München,
2. Gutachter: Frau Prof. Dr. LIQU MENG, TU München.

Kurzfassung

Dreidimensionale (3D) Gebäudemodelle verlangen je nach Anwendung oder Blickpunkt nach unterschiedlicher Detaildichte, d. h. unterschiedlichen Maßstäben. Damit nicht jedes unterschiedlich detaillierte Modell aus grundlegenden Daten, wie z. B. Stereoluftbildern, erfasst werden muss, werden Methoden benötigt, mit denen aus einem detaillierten Modell weniger detaillierte Modelle abgeleitet werden können, d. h. mit denen das Modell generalisiert werden kann. Während für allgemeine 3D Objekte oder digitale Geländemodelle (DGM) eine große Zahl an Generalisierungsansätzen existiert, steht die Modellgeneralisierung von Objekten mit den speziellen Eigenschaften von Gebäuden, d. h. überwiegend rechten Winkeln zwischen den das Gebäude bildenden ebenen Flächen, bisher am Anfang der Entwicklung.

Diese Arbeit stellt einen neuen Ansatz zur automatischen Modellgeneralisierung von 3D Gebäudedaten auf der Basis der formal mathematisch definierten Maßstabsraumtheorie vor. Maßstabsräume sind umfassend theoretisch untersucht, d. h. es existieren Charakteristika, wie z. B. Isotropie und Homogenität, sowie Anforderungen, wie besonders Kausalität, welche besagt, dass Strukturen eines gröberen Maßstabs einen Grund im feineren Maßstab haben müssen.

Für die Vereinfachung von 3D Gebäude-modellen werden speziell die Maßstabsräume mathematische Morphologie und Krümmungsraum auf 3D Vektordaten mit überwiegend rechtwinkligen Strukturen erweitert. Der erste Maßstabsraum wird durch das einheitliche Verschieben aller Flächen eines Modells in oder entgegen der Richtung ihrer Normalen realisiert, während bei Letzterem nur Flächen von Strukturen mit starker Krümmung bewegt werden und die Richtung der Bewegung in Bezug auf die Normalen nicht einheitlich ist. Der Begriff der ‚Krümmung‘ wird dazu für rechtwinklige Strukturen näher untersucht. Nur mit mathematischer Morphologie können Gebäude(-teile) verschmolzen oder getrennt werden, wohingegen nur der Krümmungsraum für die Beseitigung von box- oder treppenförmigen Strukturen geeignet ist. Motiviert durch die bei der Umsetzung der beiden 3D Maßstabsräume auftretenden theoretischen und praktischen Probleme wurde ein neuer 3D Maßstabsraum entwickelt, der die Forderung nach Kausalität erfüllt. Dieser als ‚Parallelverschiebung‘ bezeichnete Ansatz verbindet die Möglichkeiten der mathematischen Morphologie mit denen des Krümmungsraums und ist zudem schneller und allgemeingültiger.

Für die Behandlung von nicht-rechtwinkligen Strukturen, speziell für geneigte Dachstrukturen, wird ein neuer Ansatz vorgeschlagen, bei dem zusammenhängende Dachstrukturen (Dacheinheiten) ermittelt und ihre Flächen in die horizontale oder vertikale Richtung gezwungen werden. Er ist von einem kontinuierlichen Maßstabsparameter abhängig und erfüllt das Kausalitätskriterium. Er kann daher als weiterer Maßstabsraum angesehen werden.

Zusammenfassend sind die Novitäten dieser Arbeit:

- Eingehende theoretische Untersuchung des Krümmungsraums für rechtwinklige aus ebenen Flächen aufgebaute 3D Strukturen,

- Vorstellung und Untersuchung eines Generalisierungsansatzes, bestehend aus zwei Maßstabsräumen, welche die Forderung nach Kausalität erfüllen:
- Parallelverschiebung zur effizienten Vereinfachung rechtwinkliger Strukturen und
- Elimination geeigneter Dachstrukturen.

Die verschiedenen Ansätze zur Generalisierung rechtwinkliger Strukturen und die Elimination geeigneter Dachstrukturen wurden an einer größeren Zahl generischer Gebäudemodelle erfolgreich getestet und zeigen das Potential einer maßstabsraumbasierten Generalisierung. Die Darstellung verbleibender Probleme und das Aufzeigen von Perspektiven runden die Arbeit ab.

Universität Zürich

Frau Dipl.-Geogr. **GABRIELA SCHAEPMAN-STRUB** promovierte im November 2004 an der Mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Zürich mit der Arbeit „*Spectrodirectional Reflectance Analysis and Definition for the Estimation of Vegetation Variables*“ zum Dr. sc. nat.

Gutachter: Prof. Dr. **KLAUS I. ITTEN** und Prof. Dr. **ROBERT WEIBEL**, Zürich.

Zusammenfassung

Die Untersuchung klimatologischer, ökologischer, umweltrelevanter und agronomischer Prozesse mit Raumbezug basiert meist auf räumlich kontinuierlicher und georeferenzierter Information der Biosphäre. Die Fernerkundung leistet einen einmaligen Beitrag zur Erforschung, Kartierung und Überwachung dieser Prozesse. Die Kombination von Spektroskopie und Fernerkundung mit variablem Aufnahmewinkel, i. e. die Forschung mit spektrodirektionalen Daten, ist eine neuere Entwicklung, die eine genauere Schätzung von Vegetationsvariablen verspricht. Kontinuierliche, schmalbandige Reflektanzdaten erlauben die Analyse von spezifischen Absorptionseigenschaften von biochemischen Stoffen. Die directionale Fernerkundung betont den Einfluss der Be-

leuchtungs- und Aufnahmewinkel auf Reflektanzdaten, für die Schätzung der Pflanzendeckenstruktur mittels biophysikalischer Variablen. Die Kombination der beiden kann für eine angemessenere Beschreibung von Energieflüssen zwischen der Bio- und der Atmosphäre verwendet werden.

Während der Schätzung von Vegetationsvariablen pflanzen sich die Unsicherheiten der spektrodirektionalen Daten in den Produkten fort. Diese Dissertation quantifiziert und diskutiert zwei wesentliche Unsicherheitsquellen auf Reflektanzebene: (1) spektrale Effekte in directionalen Reflektanzdaten während des Tages und ihre Repräsentation in einem Strahlungstransfermodell, sowie (2) das Gleichsetzen von verschiedenen Reflektanzgrößen in Anwendungen.

Der erste Teil der Arbeit konzentriert sich auf den Aufbau des Feldexperimentes, gefolgt von der Analyse der gemessenen hemisphärisch-directionalen Reflektanzdaten einer Alfalfa Pflanzendecke. Es wird gezeigt, dass die Vernachlässigung des Sonnen- und Blickwinkeleffektes in gemessenen Reflektanzdaten zu wellenlängenabhängigen Unsicherheiten führt. Deren Quantifizierung an Nadirdaten während eines Tages weist auf die Auswirkungen auf Feldmessungen zu Validierungszwecken von flugzeug- oder satellitengestützten Daten hin. Weiter wird beispielhaft dargestellt, dass die wellenlängenabhängigen directionalen Effekte empirische Ansätze (z. B. Vegetationsindices) stark beeinträchtigen. Obwohl die Prozesse, die die spektralen Effekte in directionalen Daten hervorrufen, in Reflektanzmodellen eingebunden sind, zeigen simulierte Daten kleinere Variationen als die Messungen des Feldexperimentes. Die quantitativen Resultate deuten auf hohe Unsicherheiten auf dem Reflektanzlevel hin, die sich in der Schätzung von Vegetationsvariablen durch empirische Ansätze, wie auch bei der Inversion von Strahlungstransfermodellen, fortsetzen.

Im zweiten Teil der Dissertation wird der Schwerpunkt auf die angemessene Verwendung der Reflektanznomenklatur für jede beliebige Anwendung in der Fernerkundung gelegt, einschließlich Annäherungen an die

bidirektionalen Reflektanzverteilungsfunktion (BRDF). Dieser Teil gibt eine Basis für die Auswahl der geeignetsten Größe aus verschiedenen Reflektanzprodukten, wie sie von neueren Satellitensensoren erhältlich sind. Bestehende Nomenklaturkonzepte werden besprochen und Modellierstudien zeigen Reflektanzgrößen und ihre Unterschiede für eine Pflanzendecke, Schnee und eine künstliche Oberfläche. Zum ersten Mal werden die Differenzen von hemisphärisch-direktionalen und bidirektionalen Reflektanzprodukten des MISR Sensors für verschiedene Biome quantifiziert und umfassend analysiert. Die Resultate zeigen numerisch kleine, aber wellenlängenabhängige Differenzen, die die zugewiesenen Datenunsicherheiten erreichen.

Mit ihrem quantitativen Ansatz weist diese Dissertation auf die Bedeutung der spektrodirektionalen Effekte in Fernerkundungsdaten hin, bespricht existierende Nomenklaturen von Reflektanzgrößen und zeigt deren Wichtigkeit an Fallstudien auf, die verschiedene Fernerkundungsgemeinschaften ansprechen.

Diese Dissertation schließt mit der Zusammenfassung der oben genannten Feststellungen ab. Sie empfiehlt, Datenunsicherheiten zu reduzieren und in zukünftige Anwendungen mit einzubeziehen, unter Berücksichtigung der vorgeschlagenen Reflektanznomenklatur. Die Repräsentation der spektralen Effekte in spektrodirektionalen Messungen und modellierten Resultaten soll weiter erforscht werden, unter besonderer Berücksichtigung der Einfachstreuikomponenten des gekoppelten Strahlungstransfersystems Boden-Vegetation-Atmosphäre.

Die Arbeit wurde veröffentlicht in:
Remote Sensing Series 42, Remote Sensing Laboratories, Department of Geography, University of Zurich, 128 S. ISBN: 3-03703-008-9.

Technische Universität Wien

Frau Dipl.-Ing. VESELINA DENCHEVA promovierte im November 2005 am Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der

TU Wien mit der Arbeit „Genauigkeit der digitalen Photogrammetrie“ zum Dr. techn.
1. Begutachter: Prof. Dr. KARL KRAUS, TU Wien.

2. Begutachter: Prof. Dr. KLAUS HANKE, Universität Innsbruck.

Kurzfassung

Über die Qualität der Auswertergebnisse, die aus digitalisierten bzw. digitalen Luftbildern entstehen, gibt es wenig wissenschaftliche Literatur. In diesem Beitrag werden deshalb umfangreiche Messreihen, die manuell und halbautomatisch entstanden sind, analysiert und unter anderem folgende Fragen erörtert:

- a) Wie genau ist die manuelle punkt- und linienweise Auswertung in Abhängigkeit von der Punktart und von der Linienart, vom Filmtyp (Farbe, Schwarzweiß), von der Pixelgröße, vom Bildmaßstab und von der Flughöhe?
- b) Wie genau ist die halbautomatische dreidimensionale Linienauswertung mit Snakes in Abhängigkeit von der Bildqualität und einiger unter a) genannten Einflussfaktoren?
- c) Welche Pixelgröße ist für die Messsicherheit und für die Messgenauigkeit am besten?
- d) Wie wird die Genauigkeit an rekonstruierten Objekten in Abhängigkeit vom Bildmaßstab und von der Flughöhe beeinflusst?

Zusätzlich zu relativen Genauigkeiten, die aus Wiederholungsmessungen abgeleitet werden, sind auch einige absolute Genauigkeiten, die aus dem Vergleich mit terrestrischen Messungen entstehen, angegeben.

Die Beantwortung der Fragen a) bis d) ist für die Praxis von großer Bedeutung. Die vorgeschlagenen Konzepte für die Analyse der Messreihen sind aus wissenschaftlicher Sicht von Interesse. Einige herausragende Ergebnisse sind:

- a) Die Linienauswertung in der digitalen Photogrammetrie entsteht punktweise.
- b) Die Genauigkeit der digitalen Linienauswertung ist der Genauigkeit der analytischen Punktmessung ebenbürtig.
- c) Die Bildmessgenauigkeit beträgt $\frac{1}{25}$ Pixel.

- d) Die beste Bildmessgenauigkeit wird mit 20 µm Pixel erreicht.
 e) Die halbautomatische Methode liefert um 30% bessere Resultate.

Universität Rostock

Dr. rer. nat. NGUYEN XUAN THINH habilitierte sich am 6. Dezember 2005 mit der Arbeit „*Entwicklungen von mathematisch-geoinformatischen Methoden und Modellen zur Analyse, Bewertung, Simulation und Entscheidungsunterstützung in Städtebau und Stadtökologie*“ an der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät der Universität Rostock.

Gutachter: Prof. Dr. RALF BILL und Prof. Dr. HEIDRUN SCHUMANN, Rostock, Prof. Dr. BERNHARD MÜLLER, IÖR Dresden.

Dr. THINH, geboren 1960 in Vietnam, ist seit 1992 Mitarbeiter am Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR) e.V. in Dresden.

ITC Enschede

Four renowned European institutes formed a consortium and offer you a unique

European Master of Science (MSc) Course in Geo-information Science and Earth Observation for Environmental Modelling and Management.

The course will be taught by world class faculty and is organised sequentially in four countries: UK, Sweden, Poland and The Netherlands.

While spending time in each you will gain valuable sight into the academic, social and cultural diversity of northern and central Europe. For non-EU candidates we offer a number of full Erasmus Mundus fellowships.

For self funding candidates we reserved a sufficient number of places. For EU candidates we offer assistance in obtaining Erasmus Socrates funding and an opportunity to spend up to three months of study in affiliated universities outside Europe (under condition of EU approval). In addition we

have a few fellowships available to cover fees.

You may be recently graduated from a university with a BA or BSc (1st or 2.1) degree in rural and environmental planning, geography, natural resources, agriculture, forestry, geo-information science, geology, water resources or related topics, or have been professionally employed in the field. This MSc course is a new opportunity to follow a top quality mastercourse in Geo-information and environmental modelling. Apply now online: <http://www.gem-msc.org/registration.asp>

Applications for the course including scholarships should reach ITC no later than 1 January. Applications for full fee paying students can be submitted till 1 July.

For more information see our website: www.gem-msc.org or contact ITC – Ms. Jorien Terlouw, Tel.: +31-(0)53-487-43 00, Fax: +31-(0)53-487-45 54 info@gem-msc.nl

Intergraph

stattet 1000 Erstsemester-Studenten mit kostenloser GIS-Software aus.

Zu Semesterbeginn im Herbst 2005 wurde 1000 Studienanfängern der Fachbereiche Geodäsie, Kartographie, Photogrammetrie, Geoinformatik und Geographie die GIS-Software GeoMedia Professional von Intergraph kostenlos überreicht. Zahlreiche Fachschaften an bundesdeutschen und österreichischen Hochschulen nahmen Intergraphs Angebot an und forderten für die Einführungsveranstaltungen GIS-Software-Lizenzen zur Weitergabe an die Erstsemester-Studenten an. Dieses im Jahr 2003 an der TU Dresden gestartete Sponsoring-Modell wurde zum Wintersemester 2005/2006 auf mittlerweile fünfzehn Hochschulen ausgedehnt. Damit verstärkt Intergraph als einer der weltweit führenden Anbieter im Marktsegment Geographische Informationssysteme (GIS) die intensive Zusammenarbeit mit den Forschungs- und Bildungseinrichtungen im deutschsprachigen Raum.

Zumeist während der Einführungsveranstaltungen wurde den Erstsemestern die

Software überreicht. 1000 Studenten, mehrheitlich der Studienrichtungen Geographie und Geoinformatik angehörend, nahmen dieses kostenlose Angebot an, um sich schon zu Beginn des Studiums mit dem Thema Geographische Informationssysteme auseinanderzusetzen. Lehrkräfte wie Fachschaften wissen: Innovative GIS-Software wie GeoMedia Professional stellt einen wichtigen Baustein der Ausbildung und im späteren Berufsalltag dar.

Seit Beginn der kostenlosen Abgabe von Software an Studenten, Teilnehmer von Fort- und Weiterbildungsseminaren sowie Schüler im Januar 2000 wurden bereits über 10 000 Software-Lizenzen in Deutschland, Österreich und der Schweiz abgefragt. Dies entspricht einem regulären Marktwert der Software von rund 100 Millionen Euro.

In nunmehr sieben Jahren ist Intergraph mit einem speziell auf den deutschsprachigen Markt abgestimmten Hochschulprogramm aktiv. Dazu wurde im November 1998 mit dem Institut für Kommunale Geoinformationssysteme e.V. – IKGIS (www.ikgis.de) eine Vertriebspartnerschaft geschlossen. Unter der Leitung von Prof. Dr. HARALD SCHLEMMER, TU Darmstadt, stellt seitdem dieser exklusive Intergraph-Vertriebspartner erfolgreich sein GIS-Know-how Hochschulen sowie Fort- und Weiterbildungsinstitutionen zur Verfügung. Als Ansprechpartner und für Rückfragen stehen am IKGIS zur Verfügung: CORA BRETSCHEIDER, Tel.: +49 (0)6151/ 164947, und SEBASTIAN FEICK, Tel.: +49 (0)6151/1631 47.

MATTHIAS ALISCH, Bonn

Vorankündigungen

2006

23.–26. April: **GITA Annual Conference 29** in **Tampa, FL., USA**. Auskünfte: Tel.: +1-303-337 0513, Fax: +1-303-337 1001, e-mail: info@gita.org, www.gita.org

24.–29. April: International Summer School der **ISPRS WG V/6** *“Medical images, human motion and body measurement”* on **Advances in Medical Imaging in Aghios Nikolaos**, Kreta, Griechenland. Auskünfte durch: Dr. Nicola D’Apuzzo, Sekretär, e-mail: isprs@homometrica.ch, patias@topo.auth.gr, www.homometrica.ch/isprs/summerschool/index.html

24.–29. April: International Summer School der **ISPRS WG VI/6** *“Digital Recording and 3D Modeling”* in **Aghios Nikolaos**, Kreta, Griechenland. Auskünfte durch: Liliane Steinbrueckner, e-mail: stein@geod.baug.ethz.ch, www.photogrammetry.ethz.ch/summerschool/

30. April–4. Mai: **ASPRS Annual Conference 2006** in **Reno** Hilton Hotel, Nevada, USA. Auskünfte durch: ASPRS, Tel.: +1-301-493-0290, Fax: +1-301-493-0208, e-mail: asprs@asprs.org, www.asprs.org/asprs/meetings/calendar.html

3.–5. Mai: **IST-Africa** (Information Society Technologies in Africa) **2006 Conference in Pretoria**, Südafrika. Auskünfte durch: Conference Secretariat, Tel.: +353-1-817 0607, Fax: +353-1-817 0606, e-mail: secretariat@IST-Africa.org, www.imaging.org/

7.–12. Mai: 2006 **International Congress of Imaging Science (ICIS’06)** – *“Linking the Explosion of Imaging Applications with the Science and Technology of Imaging”* in **New York**. Auskünfte durch: ICIS’06, Tel.: +1-703-642-9090, Fax: +1-703-642-9094, e-mail: icis06@imaging.org, www.imaging.org/

8.–11. Mai: 5th **International Symposium on Mobile Mapping Technology (MMT 2006)** in **Padua**, Italien. Auskünfte durch: Prof. A. Vettore, e-mail: antonio.vettore@unipd.it oder Prof. N. El-Sheimy, e-mail: elsheimy@ucalgary.ca, www.cirgeo.unipd.it/sitoCIRGEO/mmt-frst.html

8.–11. Mai: **ISPRS Mid-term Symposium Commission VII “Remote Sensing: From Pixels to Processes”** in **Enschede**, Niederlande. Auskünfte durch: Prof. John L. van Genderen, Pres. Com. VII, Tel.: +31-53-487 4254, Fax: +31-53-487 4466, e-mail: genderen@itc.nl, www.commission7.isprs.org

11./12. Mai: **2. GIS-Ausbildungstagung** am GFZ in **Potsdam**. Auskünfte durch Prof. Jochen Schiewe, Osnabrück, e-mail: jschiewe@fzg.uni-osnabrueck.de, <http://gis.gfz-potsdam.de>

15.–17. Mai: 25th **Urban Data Management Symposium (UDMS 2006)** in **Aalborg**, Dänemark. Auskünfte durch: UDMS Executive Secretary Mrs. Elfride M. Fendel, e-mail: e.fendel@otb.tudelft.nl, www.udms.net

19. Mai: Tagung des AK „Interpretation von Fernerkundungsdaten“ der DGPF **Landschaft und Klima – Erfassung ihrer Wechselbeziehungen mit modernen Fernerkundungstechnologien** in **Berlin-Schönefeld** auf dem ILA-Gelände. Auskünfte durch: Dr. Horst Weichelt, e-mail: dgpf-akfe@hweichelt.de, Tel.: 03381-8904 311

29. Mai–2. Juni: 26. **EARSel-Symposium** in **Warschau**. Auskünfte durch: Frau Gesine Böttcher, EARSeL-Sekretariat Hannover, e-mail: boettcher@ipi.uni-hannover.de und www.earsel.org

8.–10. Juni: **Geomatiktage 2006** in **Luzern**. Auskünfte durch: SGPBF, www.igs-gfsvkv.ch/d/oeffentlichkeit/veranstaltungen/fin dex.html

27.–30. Juni: **ISPRS Mid-term Symposium Commission VI – “E-Learning & the Next**

Steps for Education” in **Tokyo**/Japan. Auskünfte durch: Prof. Kohei Cho, Pres. Com. VI., Department of Network and Computer Engineering, Tokai University, 2-28-4, Tomigaya, Shibuya-ku, Tokyo, 151–0063, Japan, Tel.: +813-3481-0611, Fax: +813-3481-0610, e-mail: kcho@keyaki.cc.u-tokai.ac.jp oder: cho@yoyogi.ycc.u-tokai.ac.jp, www.commission6.isprs.org, www.tric.u-tokai.ac.jp/ISPRScom6/TC6-2006-Symp.htm

28./29. Juni: 21. **Intergraph-Anwender-Konferenz GeoForum 2006** in **Weimar**, congress centrum neue weimarhalle. Auskünfte durch: Dr. Matthias Alisch, Tel.: 49-228-3915-123, Fax: 49-228-3915-223, e-mail: matthias.alisch@intergraph.com

28.–30. Juni: 9. **Symposium on the 3-D Analysis of Human Movement in Valenciennes**, Frankreich. Auskünfte durch: Franck Barbier, e-mail: franck.barbier@univ-valenciennes.fr, www.univ-valenciennes.fr/congres/3D2006/

3.–6. Juli: **ISPRS Mid-term Symposium Commission I-“From Sensors to Imagery”** in **Marne-la-Vallée/Paris**. Auskünfte durch: Alain Baudoin, Pres. Com.I, CNES, 2, place Maurice Quentin, F-75039 Paris Cedex 01, Tel.: +33-1-4476 7810, Fax: +33-1-4476 7867, e-mail: alain.baudoin@cnes.fr oder: sfpt@ensg.ign.fr, www.cnes.fr, www.commission1.isprs.org, www.colloquium.fr/ei content/Congres/06SFPT/06SFPT_index.htm

4./5. Juli: 1th **International Conference on Object-based Image Analysis “Bridging Remote Sensing and GIS”** in **Salzburg**. Diese Konferenz ist gekoppelt mit **AGIT 2006**. Auskünfte durch: Dr. Stefan Lang, Z-GIS Centre for Geoinformatics, Universität Salzburg, Hellbrunnerstr. 34, A-5020 Salzburg, Tel.: +43–662-8044 5262, Fax: +43-662-8044 5260, e-mail: stefan.lang@sbg.ac.at, Thomas Blaschke, e-mail: Thomas.Blaschke@sbg.ac.at, www.uni-salzburg.at/zgis/lang, www.agit.at/obia

- 5.–7. Juli: 10th **International Conference on Information Visualization (IV06) in London.** Auskünfte durch: Ebad Banisse, Tel.: +44-171-815-7476, e-mail: banisse@lsbu.ac.uk, www.graphicslink.co.uk/IV06/
- 5.–7. Juli: 7th **International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources & Environmental Sciences in Lisbon.** Auskünfte durch: Sekretariat, Tel.: +351-21-381-9600 352, Fax.: +351-21-381-9699, e-mail: mcperreira@igeo.pt, www.2006.spatial-accuracy.org/
7. Juli: **GI4DEV-Geoinformation for Development-Conference in Salzburg.** Auskünfte durch: Stefan Kienberger, e-mail: stefan.kienberger@sbg.ac.at, www.agit.at/gi4dev
8. Juli: **ICA Workshop on Geospatial Analysis & Modeling in Wien.** Auskünfte durch: Bin Jiang, Tel.: +46-26-64-8901, Fax: +46-26-64-8828, e-mail: bjg@hig.se, www.hig.se/~bjg/ica/workshop/
- 10.–12. Juli: 12th **International Symposium on Spatial Data Handling in Wien.** Auskünfte: Programme Committee, e-mail: greg.elmes@mail.wvu.edu, www.agile-secretariat.org/docs/12th_SDH.pdf
- 11.–13. Juli: **2006 IASME/WSEAS International Conference on Energy, Environment, Ecosystems and Sustainable Development (EEESD'06) in Athen.** Auskünfte durch: Adrianos Retails, e-mail: adri anr@space.noa.gr, www.worldses.org/conferences/2006/greece/energy/
- 12.–14. Juli: **ISPRS Mid-term Symposium Commission II – GICON 2006 “Geoinformation Connecting Societies” in Wien.** Auskünfte durch: Prof. Wolfgang Kainz, Pres. Com.II., Department of Geography and Regional Research, University of Vienna, Universitätsstr. 7, A-1010 Wien. Tel.: +43-1-4277-48640, Fax: +43-1-4277-9486, e-mail: wolfgang.kainz@univie.ac.at, www.gicon2006.at/, www.commission2.isprs.org
- 25.–28. Juli: 3rd **International Conference on Computer Graphics, Imaging & Visualization (CGIV06) in Sydney.** Auskünfte durch: Ebad Banisse, Tel.: +44-171-815-7476, e-mail: IV06-CGIV06@graphicslink.co.uk, www.graphicslink.co.uk/cgiv06/
31. Juli–4. August: **IEEE/IGARSS 2006 in Denver, CO, USA.** Auskünfte durch: Ms. Lisa A. Ostendorf, Tel.: +1-540-658-1676, Fax: +1-540-658-1686, e-mail: ieeeigrss@adelphia.net, www.igarss06.org
- 7./8. August: **International Workshop on 3D Geoinformation 2006 (3DGeoInfo'06) in Kuala Lumpur.** Auskünfte durch: Alias Abdul Rahman, Tel.: +60-7-553 0563, Fax: +60-7-556 6163, e-mail: alias@fksg.utm.my, www.gdmc.nl/zlatanova/3Dgeoinfo2006/
- 1.–3. September: **ISPRS 7th Joint ICA/EuroGeographic International Workshop on “Incremental Updating & Versioning” in Haifa, Israel.** Auskünfte durch: Ammatzia Peled, Tel.: +972-48-34 3591, Fax: +972-48-34 3763, e-mail: peled@geo.haifa.ac.il, http://geo.haifa.ac.il/~icaupd/
- 4.–7. September: **ISPRS Mid-term Symposium Commission VIII “Remote Sensing Applications for a Sustainable Future” in Haifa, Israel.** Auskünfte durch: Ammatzia Peled, Pres. Com.VIII, Tel.: +972-48-34 35 91, Fax: +972-48-34 3763, e-mail: peled@geo.haifa.ac.il, www.commission8.isprs.org
- 5.–8. September: **RSPSoc Annual Conference in Cambridge, UK.** Auskünfte durch: Patsy Wilson-Smith, e-mail: administrator@uflm.cam.ac.uk, www.rspsoc.org
- 11.–13. September: **26. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF „Geoinformatik und Erdbeobachtung“ in Berlin.** Auskünfte: www.dgpf.de
- 12.–14. September: **28. DAGM – Tagung 2006 in Berlin.** Auskünfte durch: Konferenz-Sekretariat Frau Andrea Semionyk, Fraunhofer Institut für Telekommunikation

tion, Heinrich-Hertz-Institut, Image Processing Department. Einsteinufer 37, D-10587 Berlin, Tel.: +49-30-31002-561, Fax: +49-30-3927200, e-mail: dagm06@hhi.de, <http://dagm06.hhi.de>

14.–22. September: 9th **International Symposium on High Mountain Remote Sensing Cartography** in **Graz** mit mehrtägiger Alpenexkursion. Auskünfte: e-mail: wolfgang.sulzer@uni-graz.at, http://www.kfunigraz.ac.at/geowww/hmrsc/hmrsc_9.htm

18./19. September: 43. **AgA-Tagung** "Arbeitsgemeinschaft **Automation in Kartographie, Photogrammetrie und GIS**" der DGfK im Hasso-Plattner-Institut **Potsdam**. Auskünfte und Einreichung von Beiträgen: www.ikg.uni-hannover.de/aga

18.–20. September: **International Conference on Image Analysis & Recognition (ICIAR 2006)** in **Póvoa de Varzim**, Portugal. Auskünfte durch: Secretariat, Tel.: +351-22-508-1623, Fax: +351-22-508-16 24, e-mail: gafonso@fe.up.pt, www.iciar.uwaterloo.ca/

19.–22. September: **ISPRS Mid-term Symposium Commission III "Photogrammetric Computer Vision PCV'06"** in **Bonn**. Auskünfte durch: Prof. Wolfgang Förstner, Pres. Com.III, Tel.: +49-228-732 2713, Fax: +49-228-732 2712, e-mail: wf@ipb.uni-bonn.de, www.commission3.isprs.org, www.ipb.uni-bonn.de/isprs/pcv06/

25.–27. September: **ISPRS Mid-term Symposium Commission V "Image Engineering and Vision Metrology"** in **Dresden**. Auskünfte durch: Prof. Hans-Gerd Maas, Pres. Com.V, Tel.: +49-351-463-33680, Fax: +49-351-463-37266, e-mail: hmaas@rcs.urz.tu-dresden.de, www.commission5.isprs.org, www.tu-dresden.de/ipf/symposium/

27.–30. September: **ISPRS Mid-term Symposium Commission IV "Geospatial Databases for Sustainable Development"** in **Goa**, Indien. Auskünfte durch: Shailesh Nayak,

Pres. Com.IV, Tel.: +91-79-2691 4141, Fax: +91-79-26915, e-mail: shailesh@sac.isro.org, www.commission4.isprs.org

4.–6. Oktober: 2nd **Goettingen GIS & Remote Sensing Days "Global Change Issues in Developing and Emerging Countries"** in **Göttingen**. Auskünfte durch: Martin Kappas, e-mail: GGRS@uni-goettingen.de, www.ggrs.uni-goettingen.de

8.–13. Oktober: XXIII. **Internationaler FIG Kongress "Shaping the Change"** in **München**. Auskünfte durch: FIG Office, Tel.: +45-38-861081, Fax: +45-38-86 0252, e-mail: fig@fig.net und Thomas Gollwitzer, Kongressdirektor, Tel.: 49-9-414022-200, Fax: +49-9-414022-101, e-mail: congress.director@fig2006.de, www.fig2006.de/

9.–13. Oktober: **IX Global Spatial Data Infrastructure Conference** in **Santiago**, Chile. Auskünfte durch: Instituto Geografico Militar (IGM), e-mail: gsdi9@igm.cl, www.igm.cl

10.–12. Oktober: **INTERGEO 2006** „*Wiszen und Handeln für die Erde*“ in **München**, ICM-Messe Gelände. Kongressdirektor: Dipl.-Ing. Walter Henninger. Auskünfte durch: e-mail: www.dvw.de, www.intergeo2006.de und www.hinte-messe.de

17./18. Oktober: **ISPRS IC WG I/V 2nd International Workshop "The Future of Remote Sensing"** in **Antwerpen**, Belgien. Auskünfte durch: Jürgen Everaerts, Tel.: +32-14-336834, Fax: +32-14-322795, e-mail: jurgen.everaerts@vito.be, www.pegasus4europe.com/

30. Oktober–2. November: 6th **International Conference on "Earth Observation & Geoinformation Sciences in Support of Africa's Development"** (**AARSE2006**) in **Cairo**, Ägypten. Auskünfte durch: Sayed M. Arafat, Tel.: +202-622 5818, Fax: +202-622 5800, e-mail: smarafat@narss.sci.eg, www.narss.sci.eg/aarse2006

3.–11. November: 9th **International Conference of the Global Spatial Data Infrastructure (GSDI-9) Spatial Information: Tools for Reducing Poverty in Santiago, Chile**. Auskünfte: Organizing Committee, Tel.: +56-2-410 9427, e-mail: gdsdi9@igm.cl, www.igm.cl/gdsdi9/

6.–10. November: **ASPRS Fall Meeting in San Antonio** Crown Plaza Hotel, Texas, USA. Auskünfte durch: ASPRS, Tel.: +1-301-493-0290, Fax: +1-301-493-0208, e-mail: asprs@asprs.org, www.asprs.org/asprs/meetings/calendar.html

20.–24. November: 13th **Australasian Remote Sensing & Photogrammetry Conference 2006 in Canberra**. Auskünfte durch: Erica Stevens, Tel.: +61-2-6257-3299, Fax: +61-2-6257-3256, e-mail: arspc@icms.com.au, www.arspc.org

2007

11.–17. Februar: 14. **Internationale Geodätische Woche** des Instituts für Geodäsie der Leopold-Franzens-Universität Innsbruck in **Obergurgl**, Tirol, Österreich. Auskünfte durch: Dr. Thomas Weinhold, A-6020 Innsbruck, Technikerstr.13, Tel.: +43-512-507-6757 oder 6755, Fax: +43-512-507-2910, e-mail: geodaetischewoche@uibk.ac.at, http://geodaesie.uibk.ac.at/geod_wo.html

29.–31. Mai: **ISPRS IC WG I/V + V/I, WG I/2 + 3 5th International Symposium on Mobile Mapping Technology (MMT2007) in Padua**, Italien. Auskünfte durch: Dr. Naser El-Sheimy, Chair IC WG I/V, Tel.: +1-403-220-7587, Fax: +1-403-284-1980, e-mail: naser@geomatrics.ucalgary.ca, www.cirgeo.unipd.it/sitocirgeo/mm_frst.html

29. Mai–1. Juni: **ISPRS WG I/5, IV/3 Workshop “High Resolution Earth Imaging for Geospatial Information” in Hannover**.

Auskünfte durch: Karsten Jacobsen, e-mail: karsten@ipi.uni-hannover.de und Christian Heipke, e-mail: heipke@ipi.uni-hannover.de, www.ipi.uni-hannover.de

2.–6. Juni: **FIG XXX General Assembly and Working Week in HongKong**. Auskünfte durch: FIG Office, e-mail: fig@fig.net, www.fig.net/events/events2007.htm

3.–7. September: **51. Photogrammetrische Woche 2007 in Stuttgart**. Auskünfte durch: Martina Kroma, Tel.: +49-711-121 3386, Fax: +49-711-1213297, e-mail: martina.kroma@ifp.uni-stuttgart.de, www.ifp.uni-stuttgart.de/aktuelles/veranstaltungen.html

12.–14. September: **ISPRS WG I/4, IV/9 Workshop & Annual Conference of the Remote Sensing and Photogrammetry Society (RSPSoc) 2007 in Newcastle upon Tyne, UK**. Auskünfte durch: Jon Mills, e-mail: j.p.mills@ncl.ac.uk und David Holland, e-mail: david.holland@ordnancesurvey.co.uk

19.–21. September: **ISPRS WG III/4 + 5, IV/3 Workshop “Photogrammetric Image Analysis” (PIA07) in München**. Auskünfte durch: Uwe Stilla, Tel.: +49-89-289-22671, Fax: +49-89-280 9573, e-mail: stilla@bv.tum.de, www.ipk.bv.tum.de/isprs/pia07

2008

14.–19. Juni: **FIG XXXI General Assembly & Working Week in Stockholm**. Auskünfte: FIG Office, e-mail: fig@fig.net, www.fig.net/events/2008/fig_2008_stockholm.pdf

3.–11. Juli: **XXI ISPRS Kongress in Beijing, China**. Auskünfte durch: CSGPC, Tel.: +86-10-6833 9005, Fax: +86-10-6831 1564, e-mail: fanbsm@public.bta.net.cn, www.isprs2008-beijing.com

Buchbesprechungen

BIRGIT GUHSE, Kommunales Flächenmonitoring und Flächenmanagement, 2005 IX, 276 Seiten, Softcover, ISBN 3-87907-428-3, Herbert Wichmann Verlag

Das Buch *Kommunales Flächenmonitoring und Flächenmanagement* basiert auf der Dissertation von Frau Dr.-Ing. BIRGIT GUHSE, einer Raum- und Stadtplanerin, und ist im Wichmann Verlag erschienen.

Um es vorweg zu nehmen, das Buch beleuchtet – ausführlich und in aller Breite, aber fundiert und flüssig geschrieben – aus der Perspektive einer Planerin die Einsatzmöglichkeiten der EDV im Allgemeinen und die Möglichkeiten von Geo-Informationssystemen im Besonderen im kommunalen Umfeld. Die Adressaten dieses Buches sind also weniger Leser, die Neues und Vertiefendes über kommunale GIS erfahren wollen, sondern diejenigen, die einen breiten Querschnitt über dieses aktuelle kommunale Thema wünschen.

Das Buch beschäftigt sich eingangs mit Grundlagen und Begriffen der kommunalen Selbstverwaltung, dem Einsatz der EDV und GIS in der Kommune und den gesamtstaatlichen Rahmenbedingungen. Im zweiten Kapitel wird das Thema GIS vertieft. Dabei wird auf die wichtigsten Geobasisdaten, Fachdaten und Bezugssysteme eingegangen. Außerdem kommen Aussagen zu den Themen Interoperabilität und Datenschutz. Bei dem Thema Datenschutz wird das enge gesetzliche Korsett von Regelungen und der bürokratischen Konsequenzen (Datenschutz hat Vorrang vor Wirtschaftlichkeit) vor Augen geführt, da die (Geo)datenverarbeitung in Kommunen oftmals personenbezogene Daten verarbeitet, bzw. der Raumbezug Rückschlüsse auf die Person ermöglicht.

Das dritte Kapitel geht die wichtigsten kommunalen Aufgabenbereiche, entsprechend der KGSt-Systematik, mit einem Raumbezug durch, erläutert diese und legt die GIS-Bezüge dar. Klarer Schwerpunkt ist der Planungs- und Umweltbereich mit vie-

len Beispielen aus Hessen, Rheinland-Pfalz und Baden-Württemberg.

Im vierten Kapitel – nach etwa 170 Seiten – geht es direkt zum Thema Flächenmonitoring und Flächenmanagement. Unter der Prämisse, die Neuversiegelung zu verringern und nachhaltiger zu wirtschaften, ist im Rahmen des Flächenmanagements eine IST-Analyse notwendig, auf deren Grundlage Prioritäten zu setzen und zukünftige Konzepte zu entwickeln sind, die umgesetzt werden müssen. Dabei geht es konkret um Flächenrecycling, Baulücken, Nachverdichtung etc. Die in einem GIS-gestützten Flächenressourcenmanagement mündenden Aktivitäten werden anhand von Beispielen aus Stuttgart und Kaiserslautern untersetzt.

Das fünfte Kapitel greift das aktuelle Thema e-Government auf und untersucht, wie weit es in den Kommunen mit der Umsetzung bestellt ist. Da die Umsetzung, insbesondere unter dem GIS-Aspekt in vielen Kommunen noch zu wünschen übrig lässt, wird im sechsten Kapitel gesondert auf die GIS-Implementation, deren Phasen und auf die immer wichtiger werdenden Kosten-Nutzen-Aspekte in einer Kommune eingegangen. Neben den Kosten ist auch die Organisationsform (Inhouse vs. Outsourcing) und die Kooperation mit EVUs, anderen Gemeinden und darüber hinaus ein wichtiger Aspekt bei der GIS-Implementation.

In einem Fazit mahnt Frau GUHSE eine integriertere GIS-Datennutzung mit einer stärkeren Vernetzung an, um ein kommunales Flächenmanagement zu betreiben, dass den Zielen einer nachhaltigen Flächennutzung und -bewirtschaftung näher kommt. Als mein Fazit sei noch ein Satz hinzugefügt: Der Verweis auf den Zeitpunkt des Besuchs einer Internetseite mag zwar wissenschaftlich korrekt sein, aber der Leser erwartet in erster Linie, dass diese Links noch existieren. Deshalb hätte ein zeitlicher Verweis bei den Internetlinks vielleicht im Literaturverzeichnis ausgereicht.

GÖRRES GRENZDÖRFFER, Rostock

GI Geoinformatik (Hrsg.): ArcGIS 9 – Das Buch für Einsteiger. 1. Aufl., 362 S., mit zahlr. Farbabbildungen. Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg 2005, ISBN 3-87907-430-5

Obwohl der Titel des Buches ArcGIS 9 eine thematische Vertiefung mit diesem Thema erwarten lässt, konzentrieren sich die Autoren aus dem Hause GI Geoinformatik vorrangig auf die Einführung in die Desktop-GIS-Software ArcView 9 aus der ESRI-Produktfamilie ArcGIS.

Beginnend mit einer kurzen Einordnung von ArcView in die Produktpalette von ArcGIS (1), Ausführungen zu grundsätzlichen Anwendungsgebieten von GI-Systemen (2) und einigen Installationshilfen (3), schließt die Einführung mit Grundlagen zu Datentypen und einer beispielhaften Projekt- und Dateioorganisation (4). Hier zeigt sich bereits der gute Praxisbezug des Buches, der sich eng an den Problemen der Zielgruppe orientiert und an vielen Stellen im Buch deutlich wird.

Der konkrete Einstieg in die Software ArcView ist in einen theoretischen und einen praktischen Teil gegliedert. Der theoretische Abschnitt beschreibt, nach den beiden Hauptprogrammen ArcCatalog (5) und ArcMap (6) unterteilt, die zahlreichen Menü- und Werkzeuggesten (ArcView besteht im Wesentlichen aus zwei Anwendungen!).

In einigen Fällen wirken die Ausführungen sehr detailliert, wie die mehrfache Beschreibung der selbstverständlichen Befehle *Kopieren*, *Ausschneiden* oder *Einfügen*. Andererseits sind einzelne Funktionen ohne weiterführende Erklärungen zu kurz gefasst. So ist die reine Beschreibung der Metafunktionen ohne eine Hilfestellung zum Einsatz dieser Daten für Einsteiger nur schwer anzuwenden.

Diese Einwände sollen jedoch nicht über die insgesamt gute Informationstiefe hinweg täuschen. Als besonders praktisch erweisen sich die vielen extra gekennzeichneten Tipps, die manche versteckte Funktion ans Tageslicht bringen oder einfach nur die oft

umständliche Bedienung von ArcView vereinfachen.

Die streng an den Menüpunkten ausgerichtete Strukturierung des Textes in den Kapiteln 5 und 6 ist für einen ersten Einstieg in ArcView nicht optimal gewählt. So erfährt der Leser beispielsweise, wie benutzerdefinierte Befehle aus Programmbibliotheken in eigene Werkzeuggesten eingebunden werden, bevor er den Kartenmaßstab ändern kann.

Der zweite (praktische) Abschnitt (10) bietet dem Anwender einen leichteren Einstieg. In neun Lektionen werden mit vorbereiteten Geodaten, die von der Website des Herausgebers geladen werden können, die typischen Aufgaben eines GIS schrittweise erklärt. Lediglich die Geoverarbeitung kommt mit einem einzigen Beispiel zum Puffer (engl. Buffer) zu kurz. Nicht nur für Einsteiger, sondern auch für Umsteiger sind die Abschnitte zur Geodatabase lesenswert (Lektion 5 und Kapitel 7), einem neuen datenbankbasierten Datenmodell, das ESRI für zukünftige Anwendungen empfiehlt.

Der Vollständigkeit halber müssen die Kapitel Koordinatensysteme (8) und ArcToolbox (9) genannt werden, die aber aufgrund ihrer knappen Seitenzahl (drei und acht Seiten) nur rudimentäre Informationen enthalten. Kapitel 11 stellt für eine vermutlich sehr kleine Zielgruppe die Neuerungen der Version ArcView 9.1 im Vergleich zur Version 9.0 dar, auf die auch im gesamten Buch an den entsprechenden Stellen hingewiesen wird.

Abgerundet wird das Werk mit Beiträgen zur mobilen Datenerfassung (12), zu amtlichen Geodaten (14) und einer Beschreibung ausgewählter ArcGIS Desktop-Erweiterungen (13).

Insgesamt bietet das Buch eine empfehlenswerte praxisorientierte Einführung, die alle grundlegenden Bereiche von ArcView bis auf wenige Ausnahmen umfassend darstellt. Als besonderes Extra ist im Kaufpreis von 62 € ein Gutschein für eine 60-Tage-Testversion enthalten.

ALEXANDER WIESCHMANN, Bochum

THOMAS BRINKHOFF, 2005: Geodatenbanksysteme in Theorie und Praxis. Einführung in objektrelationale Geodatenbanken unter besonderer Berücksichtigung von Oracle Spatial. 466 S., Softcover. Herbert Wichmann Verlag, Hüthig GmbH & Co. KG, Heidelberg. Bestellungen: e-mail: kunden-service@huethig.de; ISBN 3-87907-433-X.

Das mit 466 Seiten recht umfangreiche Lehrbuch gliedert sich in 13 Kapitel, einem Literatur- und Abkürzungsverzeichnis, sowie weiteren nützlichen Anhängen.

Bereits im ersten Kapitel werden äußerst kompetent die Zusammenhänge, Hintergründe und Funktionsweise von Geoinformationssystemen, sowie Relationalen und Objektrelationalen Datenbanksystemen beleuchtet. Der Objektbegriff, sowie zwei wesentliche Konzepte der Objektorientierung, nämlich Vererbung und Polymorphie, werden sowohl anhand von UML-Diagrammen als auch mittels Java Code Beispielen erläutert. Dadurch gelingt es dem Autor, neben dem allgemeinen Konzept stets den Blick auf die Realisierung in einer Programmiersprache oder einem Datenbanksystem zu behalten. Dies trägt wesentlich zum Verständnis der vorgestellten Konzepte bei. Der Autor nutzt geschickt den „Umweg“ über die Objektrelationalen Datenbanksysteme, um die Anforderungen an Geodatenbanksysteme aufzuzeigen. Es wird aber auch „der Weg zurück“ verfolgt, d. h. die Verwaltung von Geodaten mittels Objektrelationaler Datenbanksysteme und Erweiterungen Objektrelationaler Datenbanksysteme zur Verwaltung von Geodaten sowohl für spezielle Lösungen als auch für Open-Source-Datenbanksysteme.

Kapitel 2 widmet sich detailliert den Besonderheiten des Datenbanksystems Oracle. Dies erscheint an dieser Stelle sinnvoll, da sämtliche Beispiele im Rest des Buches auf Oracle basieren. Mancher Leser wird es bedauern, dass der Autor kein Open-Source Datenbanksystem für die Beispiele gewählt hat. Kapitel 3 und 4 behandeln die Modellierung von Geodaten, und zwar im Kapitel 3 allgemein konzeptuell und Kapitel 4 in Geodatenbanksystemen.

Dem sonst in der GIS-Literatur diesbezüglich nicht verwöhnten Leser fällt auf, dass hier sauber zwischen Konzeption und Implementierung getrennt wird. Der Autor hält dies auch bei der Einführung in die Standards des Feature-Geometry-Modells bzw. des Simple-Feature-Modells durch. Stets werden auch Geometrie- und Topologie-bezogene Eigenschaften voneinander getrennt. Mithilfe zahlreicher UML-Diagramme gelingt es dem Autor ausgezeichnet, die etwas trockene Materie der Standardisierung von Geodaten aufzulockern und sehr anschaulich darzustellen. Mit dem Simple Feature Modell und SQL/MM Spatial werden zwei Spezifikationen räumlicher Datenbankmodelle vorgestellt, da sich die meisten aktuellen Geodatenbanksysteme entweder an der ersten oder der zweiten Spezifikation orientieren. Ein großer Teil von Kapitel 4 beschäftigt sich mit der Fragestellung, wie Oracle Spatial die beiden Spezifikationen umsetzt bzw. welche Unterschiede in der Oracle-spezifischen Implementierung festzustellen sind. Äußerst nützlich ist hier auch ein Unterkapitel, welches die Beschreibung bzw. Verwendung räumlicher Bezugssysteme in OGC, ISO bzw. Oracle Spatial incl. Koordinatentransformationen behandelt. Auch der Import großer Datenmengen in Oracle Spatial wird praxisnah beschrieben. Kapitel 5 führt in ausgezeichneter Weise in die räumliche Anfragebearbeitung von Geodatenbanken ein. Die Thematik wird in Kapiteln über die „Indexierung von Geodaten“, „Geometrische Algorithmen“ und „Verarbeitung komplexer Basisanfragen“ sehr gut verständlich und äußerst kompetent vertieft. Dies ist ein besonderer Verdienst des Autors im vorliegenden Buch. Besonders die Darstellungen über den mehrdimensionalen Zugriff und den Geometrischen Verbund sind sehr gelungen.

Aufgrund der hervorragenden Eignung als Lehrbuch fällt es schwer, das vorliegende Werk zu kritisieren. Wenn dies hier dennoch geschieht, dann im Sinne eines Verbesserungsvorschlages für eine sicherlich erfolgreiche zweite Auflage: Die spät auftauchenden Kapitel 11 „Topologie“ und Kapitel 12 „Rasterdaten“ wirken etwas als „Fremd-

körper“ und wären sicherlich besser im Umfeld von Kapitel 3, am besten wohl vor Kapitel 3.2 „Standardisierung von Geodaten“ aufgehoben.

Kapitel über die Anwendungsprogrammierung, d. h. den Zugriff auf Geodaten in Form von SQL-Objekten, über die Repräsentation von Geodaten mit XML und über aktuelle Trends im Forschungsgebiet der Geodatenbanken runden das Werk in gelungener Weise ab.

Insgesamt handelt es sich um ein für Studierende und Lehrende sicherlich hervorragend geeignetes Buch, das aber auch dem Praktiker in geo- und umweltbezogenen Institutionen der Öffentlichen Verwaltung und der Wirtschaft als eine ausgezeichnete Basis dienen dürfte. Die Konzepte werden sehr gut strukturiert vorgestellt und in vielen Beispielen praxisgerecht aufbereitet.

MARTIN BREUNIG, Osnabrück

Zum Titelbild



Bildsequenzaufnahme am Jakobshavn Isbræ Gletscher in Westgrönland

Siehe Beitrag: *Analyse des Bewegungsverhaltens des Jakobshavn Isbræ Gletschers in Grönland durch monokulare Bildsequenzanalyse* (Seite 93 bis 102) von

HANS-GERD MAAS, REINHARD DIETRICH, ELLEN SCHWALBE, MICHAEL BÄBLER & PATRICK WESTFELD, Technische Universität Dresden.

Mitteilungen der DGPF

PFG Zusammenfassungen/Summaries

Auf Beschluss des Vorstandes der DGPF werden mit Wirkung vom 1. 1. 2006 alle Zusammenfassungen von Originalbeiträgen der Zeitschrift Photogrammetrie • Fernerkundung • Geoinformation (PFG) in deutscher und englischer Sprache im Internet bereitgestellt. Begonnen wurde mit Heft 1/2006. Die Kurzfassungen sollen den Interessenten kostenlos und in Zukunft drei Jahre rückwirkend zur Verfügung stehen.

Diese Kurzfassungen sind zusammen mit der Titelseite und dem Inhaltsverzeichnis eines jeden Heftes einen Monat vor Erscheinen des Druckes im Internet verfügbar unter: <http://www.dgpf.de/Texten/pfgvor.html>

Adressenänderung

Prof. Dr.-Ing. habil. JOCHEN SCHIEWE
Universität Osnabrück
Forschungszentrum für Geoinformatik
und Fernerkundung (Raum 01/310)
Kolpingstr. 7
49074 OSNABRÜCK

Tel.: 0541-969-4631 (Sekretariat: -4591)
Mobil: 0162-745 4233
Fax: 0541-969-4061
e-mail: jschiewe@fzg.uni-osnabrueck.de
<http://www.igf.uni-osnabrueck.de/mitarbeiter/schiewe/index.html>