

PRG

Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation

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

Jahrgang 2011, Heft 4

Hauptschriftleiter:
Prof. Dr.-Ing. Helmut Mayer

Schriftleiter:
Prof. Dr. rer.nat. Carsten Jürgens, Prof. Dipl.-Ing. Thomas P. Kersten,
Prof. Dr. rer.nat. Lutz Plümer und Dr.-Ing. Eckhardt Seyfert

Redaktionsbeirat (Editorial Board): Clement Atzberger, Andrew Frank,
Christian Heipke, Joachim Hill, Patrick Hostert, Hans-Gerd Maas, Wolfgang
Reinhardt, Franz Rottensteiner, Jochen Schiewe



E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung
(Nägele u. Obermiller) Stuttgart 2011



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.



GeoUnion
Alfred-Wegener-Stiftung

Herausgeber:

© 2011 Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) e.V.
Präsidentin: Prof. Dr. Cornelia Gläßer, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Geowissenschaften, Von-Seckendorff-Platz 4, D-06120 Halle, Tel.: +49(0)345 55-26020
Geschäftsstelle: Dr. Klaus-Ulrich Komp, c/o EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH, Oststraße 2–18, D-48145 Münster, e-mail: klaus.komp@eftas.com

Published by:

E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Johannesstraße 3A,
D-70176 Stuttgart. Tel.: 0711 351456-0, Fax: 0711 351456-99, 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

Science Citation Index Expanded (also known as SciSearch®) Journal Citation Reports/Science Edition
Hauptschriftleiter: Prof. Dr.-Ing. Helmut Mayer, Institut für Angewandte Informatik, Universität der Bundeswehr München, D-85577 Neubiberg, e-mail: Helmut.Mayer@unibw.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, Prof. Dipl.-Ing. Thomas P. Kersten, HafenCity Universität Hamburg, Department Geomatik, Hebebrandstr.1, D-22297 Hamburg, e-mail: thomas.kersten@hcu-hamburg.de, Prof. Dr. rer.nat. Lutz Plümer, Universität Bonn, Institut für Geodäsie und Geoinformation, Meckenheimer Allee 172, D-53115 Bonn, e-mail: Lutz.Pluemer@ikg.uni-bonn.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: 6 Hefte pro Jahrgang.

Bezugspreis im Abonnement: € 198,- pro Jahrgang. Mitglieder der DGPF erhalten die Zeitschrift kostenlos. Der Online-Zugang ist im regulären Subskriptionspreis enthalten.

Anzeigenverwaltung: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Johannesstraße 3A, D-70176 Stuttgart, Tel.: 0711 351456-0; Fax: 0711 351456-99.
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 2011, Heft 4 Inhaltsverzeichnis

MAYER, H. & KERSTEN, T.: Editorial – Vier Jahre und 25 Ausgaben	201
-----------------------------------------------------------------------	-----

Themenheft Change Detection

MICHEL, U. & EHLERS, M.: Editorial	203
CHAABOUNI-CHOUAYAKH, H. & REINARTZ, P.: Towards Automatic 3D Change Detection inside Urban Areas by Combining Height and Shape Information	205
KLONUS, S., EHLERS, M., TOMOWSKI, D., MICHEL, U. & REINARTZ, P.: Detektion von zerstörten Gebäuden in Krisengebieten aus panchromatischen Fernerkundungsdaten .	219
LISTNER, C. & NIEMEYER, I.: Object-based Change Detection.	233
GÜNTHERT, S., WIELAND, M. & SIEGMUND, A.: Change Detection Analysis for Assessing the Vulnerability and Protective Effect of Beach Forests in Case of the Tsunami 2004 in Thailand.	247
BERNHARD, E.-M., TWELE, A. & GÄHLER, M.: Rapid Mapping of Forest Fires in the European Mediterranean Region – a Change Detection Approach Using X-Band SAR-Data.	261
SHI, W. & DING, H.: A Probability Model-based Method for Land Cover Change Detection Using Multi-Spectral Remotely Sensed Images.	271

Berichte und Mitteilungen

Bericht zur 31. Wissenschaftlich-technischen Jahrestagung der DGPF vom 13.–15. April 2011 an der Fachhochschule Mainz	
Bericht über die Jahrestagung	281
Bericht über die Firmenausstellung	283
Verleihung des Karl Kraus-Nachwuchsförderpreises 2011	283
Kurzfassungen der ausgezeichneten Arbeiten des trinationalen Karl Kraus-Nachwuchsförderpreises 2011	
MICHAEL DENK (Universität Halle-Wittenberg)	284
STEFAN CAVEGN (Fachhochschule Nordwestschweiz Muttenz)	285
CATIA REAL EHRlich (TU Darmstadt).	286
Berichte der Arbeitskreise der DGPF	
3D-Stadtmodelle	288
Aus- und Weiterbildung	289
Auswertung von Fernerkundungsdaten	290
Bildanalyse und Bildverstehen	292
Fernerkundung in der Geologie	293
Hyperspektrale Fernerkundung	294
Optische 3D-Messtechnik	295
Radarfernerkundung und Flugzeuglaserscanning	297
Sensoren und Plattformen	298
Standardisierung und Qualitätssicherung	299
Mitteilungen der DGPF	
32. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF in Potsdam 2012	300
Ausschreibung des Karl Kraus-Nachwuchsförderpreises 2012	300

Neue Mitglieder der DGPF	302
Berichte von Veranstaltungen	
Tagung „Geomonitoring“ vom 3.–4. März 2011 in Clausthal-Zellerfeld	302
GRSS/ISPRS Joint Conference – Joint Urban Remote Sensing Event (JURSE 2011) vom 11.–13. April 2011 in München.	303
Hochschulnachrichten	
Technische Universität Dresden, Dissertation TOBIAS LUNG	306
Technische Universität Dresden, Dissertation ANJA HOPFSTOCK	307
Technische Universität Dresden, Dissertation SAMY GAMAL ELBIALY	309
Technische Universität Dresden, Habilitation Dr. BISWAJEET PRADHAN	309
Technische Universität München, Dissertation STEFAN AUER	310
Leibniz Universität Hannover, Ehrendoktor Prof. WOLFGANG FÖRSTNER	311
Buchbesprechung	
KOHLSTOCK, P. (Topographie)	313
Veranstaltungskalender	314
Zum Titelbild	315
Korporative Mitglieder	316
Zusammenfassungen der „Originalbeiträge“ und der Beiträge „Aus Wissenschaft und Technik“ (deutsch und englisch) sind auch verfügbar unter www.dgpf.de/neu/pfg/ausgaben.htm	



Editorial – Vier Jahre und 25 Ausgaben

HELMUT MAYER, NEUBIBERG & THOMAS KERSTEN, Hamburg

Vier Jahre und 25 Ausgaben nachdem wir die Zeitschrift von Klaus Szangolies übernommen haben, dürfen wir mit dem nächsten Heft 5 den Stab an ein neues Team von Schriftleitern weiter reichen. Dieser Zeitpunkt ist Anlass für einen kleinen Rückblick.

Die weitreichendste Änderung, die wir am Anfang unserer Zeit als Schriftleiter eingeführt haben, ist die blinde Begutachtung durch drei Reviewer. Auch praktische Beiträge werden dreifach begutachtet. Hierbei reviewen Praktiker mit dem Ziel, nicht in erster Linie wissenschaftliche Originalität, sondern interessante Ergebnisse und Entwicklungen vorzustellen.

Sicherlich war die Einführung einer durchgehenden wissenschaftlichen Begutachtung einer der Gründe für die von den Kollegen aus der Wissenschaft seit längerer Zeit geforderte Aufnahme in den Science Citation Index Expanded und auch bei SCOPUS. Wir möchten uns an dieser Stelle aber auch bei Klaus Szangolies für seine jahrelange Vorarbeit bedanken.

Für Helmut Mayer waren die vier Jahre geprägt durch zum Zeitpunkt der Übernahme der Schriftleitung nicht absehbare gravierende private und berufliche Änderungen. Nachdem klar wurde, dass die persönlichen Lebensumstände beider Schriftleiter eine langfristige nachhaltige Schriftleitung nicht zulassen, wurde mit starker Unterstützung durch den Vorstand der DGPF mit dem neuen Team eine gute Lösung gefunden.

Die Arbeit der Schriftleitung sehr gut unterstützt haben die Autoren, die ihre Manu-

skripte rechtzeitig und in großen Teilen korrekt formatiert eingereicht haben. Wir danken den Gutachtern, die ihre kompetenten Reviews meist vor der Deadline ohne großen Erinnerungsaufwand abgegeben haben.

Eine erfolgreiche Schriftleitung benötigt ein motiviertes Team. Allen voran danken wir Eckhardt Seyfert, Carsten Jürgens und Lutz Plümer für Korrekturlesen und viele andere Formen der Unterstützung sowie die Weiterentwicklung der Bereiche Fernerkundung und Geoinformatik. Die Mitglieder des Editorial Board haben immer dann begutachtet, wenn es besonders schnell gehen musste oder die Reviews schwierig zu werden versprochen.

Besonders möchten wir dem Vorstand der DGPF für Unterstützung und Vertrauen bei Entscheidungen der Schriftleitung sowie dem Schweizerbart Verlag für die gute Zusammenarbeit danken.

Zuletzt möchten wir dem neuen Schriftleitungsteam der PFG um Wolfgang Kresse, Franz Rottensteiner und Stefan Hinz alles Gute für die Zukunft wünschen.

Adressen der Autoren:

Prof. Dr.-Ing. habil. HELMUT MAYER, Universität der Bundeswehr München, Institut für Angewandte Informatik, D-85577 Neubiberg, Tel.: +49-89-6004-3429, Fax: -3906, e-mail: Helmut.Mayer@unibw.de.

Prof. Dipl.-Ing. THOMAS KERSTEN, HafenCity Universität Hamburg, Hebebrandstraße 1, D-22297 Hamburg, Tel.: +49-40-42827-5391, Fax: -5399, e-mail: Thomas.Kersten@hcu-hamburg.de.





Editorial „Change Detection“

ULRICH MICHEL, HEIDELBERG & MANFRED EHLERS, Osnabrück

Unter dem Begriff „Change Detection“ wird allgemein die Veränderungsanalyse von episodischen und abrupten temporalen Veränderungen des Zustandes der Erdoberfläche und deren Objekten verstanden. Diese können z. B. durch Naturkatastrophen ausgelöst sein, durch massive menschliche Eingriffe in die Natur wie z. B. die Urbanisierung oder durch kriegerische Auseinandersetzungen. Moderne und exakte Change Detection Verfahren der Erdoberflächenmerkmale sind sehr wichtig, um die Beziehungen und Wechselwirkungen zwischen menschlichen und natürlichen Phänomenen zu verstehen, um Entscheidungen besser treffen und Ressourcen besser managen und nutzen zu können.

Durch den technologischen Fortschritt der Entwicklung von fernerkundlichen Sensoren werden großflächige Aufnahmen der Erdoberfläche in immer kürzeren Intervallen und mit immer höherer geometrischer und spektraler Auflösung erstellt. Dadurch sind multitemporale Analysen möglich geworden, mit denen Veränderungen unterschiedlicher Art in einer hohen Detailschärfe festgestellt werden können. Folglich gewinnen neue Methoden der Change Detection Analyse zunehmend an Bedeutung. In den letzten Jahrzehnten sind hier sehr erfolgreich verschiedene Methoden entwickelt worden, nichts desto trotz gibt es weiterhin Potential zur Verbesserung der Algorithmen. Insbesondere sind die Probleme, die sich durch den phänologischen Jahresgang von Pflanzen ergeben, noch lange nicht gelöst. Des Weiteren sind Fehler, die durch die Detektion von so genannten „Pseudochange“ auftreten, mit den gängigen Methoden oftmals nicht vollständig zu vermeiden.

In dem vorliegen Themenheft „Change Detection“ sind sechs Artikel zu unterschiedlichen Methoden der Veränderungsanalyse und mit verschiedenem Anwendungsbezug ausgewählt worden.

Der erste Beitrag „Automatische 3D-Veränderungsanalyse in städtischen Gebieten durch die Kombination von Höhen- und Form-Information“ zeigt neue Ansätze zur semi-automatischen Erkennung von 3D Veränderungen von Gebäuden, die auf der gemeinsamen Nutzung der räumlichen sowie der Höhen-Information basieren. Ziel ist die Erstellung eines Verfahrens zur Erkennung von Veränderungen in Digitalen Oberflächenmodellen (DOM), welches auch mit Daten geringerer Qualität zuverlässig arbeitet. Das Ziel des zweiten Artikels „Detektion von zerstörten Gebäuden in Krisengebieten aus panchromatischen Fernerkundungsdaten“ ist die Analyse von Veränderungen in Gebieten, in denen sich Katastrophen mit plötzlichen Änderungen an Gebäuden und der Infrastruktur ereignet haben. Die von den Autoren vorgeschlagene Methode basiert auf einer Kombination von Frequenzanalysen, Segmentierung und Texturmerkmalen mittels eines Entscheidungsbaumes. Im Vergleich mit fünf Standardverfahren zeigte dieser neue Ansatz die besten Resultate. Der dritte Artikel „Objekt-basierte Änderungsdetektion“ kommt aus der Kategorie der objektorientierten Analysen. Er präsentiert zwei Neuentwicklungen: Einerseits wird ein Algorithmus zur Bildsegmentierung vorgestellt, der es ermöglicht, die IR-MAD-Methode direkt auf Basis der Objekte durchzuführen. Andererseits zeigt diese Arbeit auf, wie die numerischen Probleme der IR-MAD-Methode durch Regularisierung und Dimensionsreduktion mittels Hauptkomponentenanalyse gelöst werden können. Der vierte Artikel ist ein Vertreter der angewandten geographischen Fernerkundung. Auf Grundlage von fernerkundlichen und multivariat-statistischen Methoden wird in der vorliegenden Arbeit die „Change Detection-Analyse zur Bewertung der Vulnerabilität und Schutzwirkung von Strandwäldern im Falle des Tsunami 2004 in Thailand“

untersucht. Mittels eines Post Classification Vergleichs wird aufgezeigt, dass die Variabilität des Schadensausmaßes an verschiedenen Typen der tropischen Küstenvegetation stark von deren räumlicher Lage sowie der spezifischen Artenzusammensetzung abhängt. Im fünften Artikel „Brandflächendetektion auf Basis von X-Band Radarsatellitendaten im europäischen Mittelmeerraum“ wird im Gegensatz zu den anderen Artikeln, die sich auf optische Fernerkundungsdaten stützen, das Potenzial von X-Band Radarsatellitendaten zur Brandflächendetektion im europäischen Mittelmeerraum ermittelt. Hauptaugenmerk liegt hierbei auf der Entwicklung eines objektbasierten, semi-automatischen, robusten und schnellen, jedoch auch räumlich genauen und übertragbaren Algorithmus zur Brandflächendetektion im Rahmen katastrophenbedingter Notfallkartierung. Das Verfahren stützt sich auf eine multitemporale Veränderungsanalyse, die auf Differenzbildern, Ratiobildern und einer Index-Berechnung beruht. Der letzte

Artikel „Ein wahrscheinlichkeits- und modellbasiertes Verfahren zur Veränderungsanalyse der Landnutzung durch Nutzung multispektraler Fernerkundungsdaten“ nutzt multiple Indizes multitemporaler Landsat ETM Bilder, um Aussagen der Veränderungen im Großraum Hong Kong zu treffen.

Liebe Leser des Themenheftes „Change Detection“, wir hoffen Ihr Interesse geweckt zu haben und wünschen Ihnen viele Anregungen und neue Denkanstöße beim Lesen der Artikel.

Anschriften der Autoren:

ULRICH MICHEL, Pädagogische Hochschule Heidelberg, Abteilung Geographie, Czernyring 22/11-12, D-69115 Heidelberg, Tel.: +49-6221-477-772, Fax: -769, e-mail: michel@ph-heidelberg.de.

MANFRED EHLERS, Universität Osnabrück, Institut für Geoinformatik und Fernerkundung, Barbarastr. 22b, D-49076 Osnabrück, Tel.: +49-541-969-3910, Fax: -3939, e-mail: mehlers@igf.uni-osnabrueck.de.



Towards Automatic 3D Change Detection inside Urban Areas by Combining Height and Shape Information

HOUDA CHAABOUNI-CHOUAYAKH & PETER REINARTZ, Oberpfaffenhofen

Keywords: DSM, 3D change detection, height information, spatial information, SVM classification

Summary: Monitoring of urban areas using remote sensing data requires reliable change detection techniques. While most of the changes are optically visible and easily detectable by an expert user, automatic processes that remain valid even when different kinds of input data are considered, are quite difficult to develop. This paper provides new solutions for semi-automatic 3D change detection of buildings based on the joint use of height and spatial information. It is an attempt to build a reliable scheme for change detection able to process high as well as lower quality Digital Surface Models (DSMs). The subtraction of DSM, computed from stereo pairs acquired at different epochs, provide valuable information about 3D urban change. However, when at least one of the DSMs presents some artifacts, a simple DSM subtraction may result also in the detection of virtual changes. Several post-processing steps are proposed in this paper and adapted to different DSM qualities in order to quantify real changes. Shape features are introduced to describe the geometry of the detected changes and a Support Vector Machine (SVM) classifier is used to differentiate real from virtual changes. Evaluation of the proposed approach on object and pixel level in terms of completeness, correctness, overall accuracy, etc is performed, proving its efficiency and relatively high accuracy for different kind of stereo images and consequently different DSM qualities.

Zusammenfassung: *Automatische 3D-Veränderungsanalyse in städtischen Gebieten durch die Kombination von Höhen und Form Information.* Das Monitoring städtischer Gebiete mit Fernerkundungsdaten erfordert zuverlässige Verfahren der Veränderungsanalyse. Obwohl die meisten Änderungen visuell durch einen erfahrenen Bildinterpret leicht erkennbar sind, erweist sich die Entwicklung automatischer Verfahren, die auch dann verlässliche Ergebnisse liefern, wenn unterschiedliche Qualitäten von Input-Daten vorliegen, als sehr problematisch. Dieser Artikel zeigt neue Ansätze zur semi-automatischen Erkennung von 3D Veränderungen von Gebäuden, die auf der gemeinsamen Nutzung der räumlichen sowie der Höhen-Information basieren. Ziel ist die Erstellung eines Verfahrens zur Erkennung von Veränderungen in Digitaler Oberflächenmodellen (DSM) welches auch mit Daten geringerer Qualität zuverlässig arbeitet. Die Subtraktion von DSM erstellt aus Stereo-Bildpaaren aus unterschiedlichen Zeiten enthält wertvolle Information über neue oder abgerissene Gebäude. Wenn allerdings eines oder beide DSM Fehler aufweisen, wird eine einfache Subtraktion von DSMs auch virtuelle Veränderungen enthalten. Aus diesem Grund werden mehrere Verarbeitungsschritte entwickelt um virtuelle Änderungen auch in DSM schlechterer Qualität möglichst weitgehend zu eliminieren. Es wird die Verwendung von vorgegebenen Form-Eigenschaften vorgeschlagen, welche die Geometrie der erfassten 3D Objekte beschreiben und ein Klassifikator aus dem Bereich Support Vector Machines (SVM) wird zur Unterscheidung von virtuellen und echten Änderungen verwendet. Die anschließende Bewertung auf Objekt- und Pixel-Level im Hinblick auf Vollständigkeit, Richtigkeit und Genauigkeit zeigt die Effizienz des vorgeschlagenen Ansatzes für verschiedene Arten von Stereo-Bilddaten mit unterschiedlichen DSM Qualitäten.

1 Introduction

In the last few decades, the constantly intensive global urbanization has made the urban and suburban areas among the most dynamic sites on Earth. New innovative tools are thus required for better monitoring of such areas. Remotely sensed imagery in some cases may be a very reliable source for better understanding of urban areas. In fact, satellite imagery can significantly improve the monitoring of cities in a wide range of applications, e. g., urban growth monitoring, disaster damage assessment, urban change detection, etc.

The overall goal of this paper lies in the development of a reliable automatic urban growth monitoring scheme valid even when input remote sensing data with different qualities and/or from different sources are considered. The proposed processing scheme is based on the joint use of height and spatial or shape information. In fact, urban changes are in general either related to building and road construction/demolition or vegetation growth. These issues should be well described if height and shape information are available. Many works have been dedicated to detect 2D changes using remote sensing data as reviewed in (LU et al. 2004, RADKE et al. 2005), but the issue of 3D change detection has been seldom tackled. In the literature, to monitor height changes, subtraction of Digital Surface Models (DSMs) has been widely used (GONG et al. 2000, HELLER et al. 2001, HOLLANDS et al. 2007). This simple approach could provide reliable results if accurate DSMs are available. However, if at least one of the used DSMs shows some artifacts (which is quite often the case), we are in general faced by the problem of significant height differences over some complex 3D structures. This may result in the detection of virtual changes, generally characterized by strange shapes. Therefore, this work suggests the additional use of several shape features in order to describe the geometry of the spatial extent of the different constructed/demolished buildings, generally characterized by quite regular shapes. A similar approach has been used in the works of (EKHTARI et al. 2008, MATIKAINEN et al. 2010) to detect buildings and building changes using Lidar and Laser DSMs. Accurate building detection maps

have been obtained, but this is somehow due to the very good quality of the used DSMs and to the successful tuning of the different thresholds. This height and spatial information joint exploitation has also been the focus of some of our previous publications (TIAN et al. 2011, CHAABOUNI-CHOUAYAKH et al. 2011) and has shown quite promising change detection results for DSMs generated from satellite images. This article aims at generalizing this approach so that it remains valid for a wider range of DSM qualities and sources. In here, two different DSM datasets have been involved in order to evaluate the ability of the proposed method to detect changes from various input remote sensing data. The first DSM dataset has been produced from airborne images acquired at two different epochs from the DLR 3K camera system (KURZ et al. 2007). Whereas, the second DSM dataset is generated from two pairs of Ikonos satellite stereo images acquired at different epochs. Since the quality of the considered DSM datasets is not as good as the Lidar/Laser ones, some adaptive post-processing steps have been included so that the proposed approach does not remain limited only to very high quality DSMs. Also, still in the frame of the automation of the proposed change detection approach and to avoid the manual tuning of the different thresholds, after the feature extraction step, this work suggests to separate the real changes from the virtual ones, using the Support Vector Machine (SVM) classifier which has shown high efficiency and robustness in various pattern recognition applications (BURGES 1998).

The organization of this paper is as follows: Section 2 gives a short overview about the DSM processor adopted to generate the DSMs. Section 3 describes the data used in this work while Section 4 provides the different steps of the proposed 3D change detection approach. Section 5 assesses the accuracy of the method using several objective metrics. Finally, Section 6 gives some conclusions and proposes some perspectives.

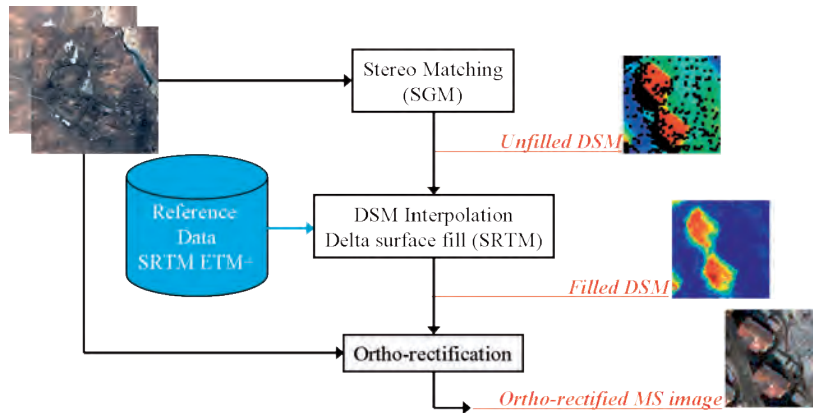


Fig. 1: DSM processor overview.

2 DSM Processor Overview

To generate the different DSMs investigated in this work, the Semi-Global-Matching (SGM) algorithm implemented at DLR (HIRSCHMÜLLER 2008, D'ANGELO et al. 2008) has been used. The high performance of SGM in comparison to other DSM processors has been highlighted in (HEIPKE et al. 2007) and its overall processing scheme is displayed in Fig. 1.

In the following, the different steps of the DSM processor of Fig. 1 are explained in more detail. For each pair of stereo images:

1. A stereo matching is first applied using SGM. This results in a first DSM version, usually called “*unfilled DSM*” since it shows some holes when the matching between the two stereo images fails (e. g., in occluded areas).
2. Then, the Delta surface fill technique is adopted to fill the “*unfilled DSM*” with data from the corresponding DSM in the SRTM ETM+ reference data. This has the notion that a very coarse DSM is used to interpolate a high resolution DSM but this technique is adapting the SRTM DSM to the local height values of the SGM-DSM and therefore leads to a meaningful filling. This step provides the final DSM version, called “*filled DSM*”. Although this interpolation step is highly required to get higher DSM quality, it might be omitted when the unfilled DSM does not present too many oc-

cluded areas. This is generally the case when more than one pair of stereo images¹ is used as input to the DSM processor. Actually, it is worth to note that one of the common artifacts in DSMs over urban areas comes from the interpolation over some problematic areas such as shadowed areas from buildings. This will be explained in more detail in Section 4.1.

3. Additionally, ortho-rectified Multi-Spectral (MS) images (according to the DSM) might also be provided, when necessary.

3 Presentation of the Data

The evaluation of the proposed change detection approach has been carried out using two DSM datasets with different quality:

- **Munich dataset: High quality unfilled DSMs (Fig. 2):**

These DSMs have been generated after applying SGM on airborne images from June 2007 and August 2008 over the city of Munich in Germany. These images have been provided by the DLR 3K camera system (Kurz et al. 2007). The 2007 data are composed of 7 nadir and 7 side-looking images

¹ When more than one pair of stereo images is available, the SGM stereo matching is first performed on each pair of these pairs. Then, the resulting “*unfilled DSMs*” are combined using a median value to generate one final “*unfilled DSM*”.

with a side overlap of 66%. Neighboring nadir and side-looking pairs were processed as described in Fig. 1 to generate the final unfilled DSM. However, the 2008 data are made of 18 nadir images with an along-track overlap of 80%. The corresponding unfilled DSMs have been generated in this case after processing several neighboring nadir pairs. The two results are displayed in Fig. 2. It can be noticed that the unfilled DSM of 2008 shows much less occluded areas (black pixels) than the one of 2007. This can be explained by the fact that a mixture of nadir and side-looking images has been used to generate the 2007 data while only nadir images (which are often prefer-

red to the side-looking images) have been involved in the generation of the 2008 data. Another possible explanation consists in the larger number of image pairs used in the case of the 2008 data. Despite its occluded areas, the 2007 unfilled DSM is still considered to have a tolerable quality and the Delta surface fill-based interpolation of the DSM processor could consequently be omitted for both 2007 and 2008 data.

It should be noted that the Munich dataset has been used in this work to check the robustness of the proposed approach in performing a multi-temporal urban area change monitoring using high quality DSM without integrating the potential DSM computation

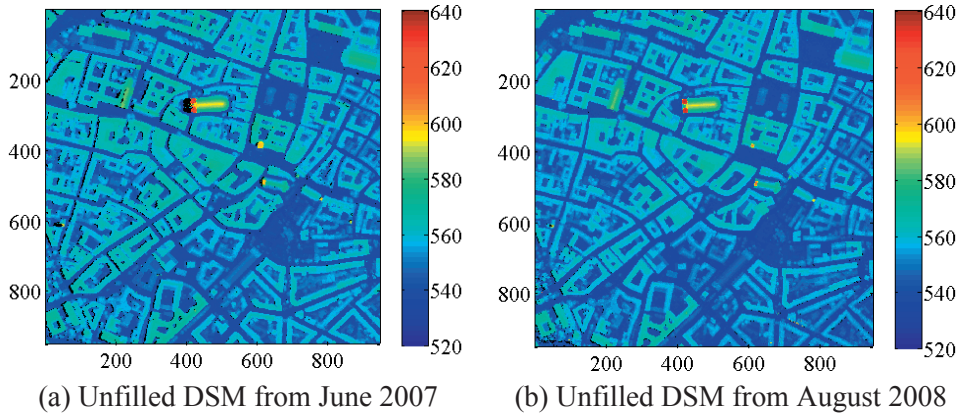


Fig. 2: Munich dataset: The two unfilled DSMs used in this work to perform a multi-temporal change monitoring of the city of Munich in Germany. The black pixels in the DSM images correspond to no-data values (occluded areas).

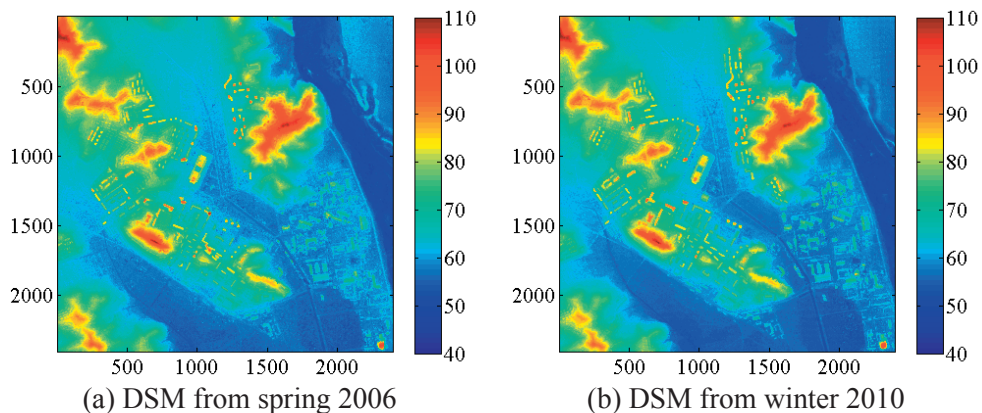


Fig. 3: Yeonwon dataset: The two filled DSMs used in this work to perform a multi-temporal and multi-season change monitoring of the city of Yeonwon in North Korea.

Tab. 1: DSM Quality evaluation.

	Munich Dataset		Yeonwon Dataset	
	DSM 2007	DSM 2008	DSM 2006	DSM 2010
Percentage of no-data pixels	2%	0.4%	29.6%	29.7%
STD [m]	0.45	0.48	0.64	0.62

errors coming from the interpolation step as described in Section 2.

- **Yeonwon dataset: Lower quality filled DSMs (Fig. 3):**

These DSMs have been generated from two pairs of Ikonos-2 stereo images (©EUSI provided under the EC/ESA GSC-DA) acquired in spring 2006 and winter 2010 over the city of Yeonwon in North Korea. The generated filled DSMs (Fig. 3) exhibit a sampling distance of 1 m and a quite good quality. Indeed, most of the man-made structures are well reconstructed.

Note that the Yeonwon dataset has been used to check the robustness of the proposed approach in performing a multi-temporal and multi-season urban area change monitoring using lower DSM qualities generated from satellite data. Since also multi-spectral information is available, it will be later included in the proposed change detection scheme in order to improve its performance.

The quality of the two DSM datasets has been measured in terms of 1) percentage of no-data pixels (over the occluded areas and due to other matching problems) and 2) Standard deviation (STD) for completely flat areas. Tab. 1 provides the quantitative evaluation of the quality of the DSMs used to detect changes in the cities of Munich and Yeonwon.

4 Change Detection Procedure

A typical solution to detect positive and negative changes consists in subtracting one DSM from the other. Such an approach provides generally good results when every pixel in the image represents the real height of the corresponding point in the studied area. However when at least one of the DSMs exhibits artifacts, this simple approach can not be reliable.

After the DSM subtraction, this work proposes to introduce some adaptive post-processing steps to generate better change detection results. Note that the subtraction of unfilled DSMs consists in differentiating the data only over the areas where the stereo matching did not fail, as described in the following statement:

For each pixel (i, j) :

$$\begin{aligned} &\text{if } (\text{uDSM}_1(i, j) \neq \text{NoData}) \text{ and} \\ &\quad (\text{uDSM}_2(i, j) \neq \text{NoData}), \\ &\text{then } \text{Diff}_{\text{uDSM}}(i, j) \\ &\quad = \text{uDSM}_2(i, j) - \text{uDSM}_1(i, j), \\ &\text{else } \text{Diff}_{\text{uDSM}}(i, j) = 0 \end{aligned} \quad (1)$$

where uDSM_k , ($k=1,2$) are the two unfilled DSMs displayed in Fig. 3 and $\text{Diff}_{\text{uDSM}}$ denotes the difference image while **NoData** corresponds to the value adopted to identify the not matched areas.

Fig. 4 depicts the two absolute DSM differences, when the statement (1) is applied to the Munich dataset unfilled DSMs of Fig. 3 and a simple subtraction of the Yeonwon dataset filled DSMs of Fig. 4 is performed.

After examining deeply the DSM difference images depicted in Fig. 4, the following observations can be stated:

- Most of the virtual changes come from the DSM artifacts caused either by the SRTM-based filling over certain occluded areas, specially the ones corresponding to shadowed regions of buildings (in the case of the Yeonwon dataset), or by some precision errors in the height computation of the DSM. In order to overcome the first problem, elimination of the shadowed regions over the wrongly filled areas is suggested in this work (Section 4.1). Whereas, a histogram-based thresholding and shape feature extraction are included in the overall proposed change detection procedure to remove automatically the virtual changes caused by

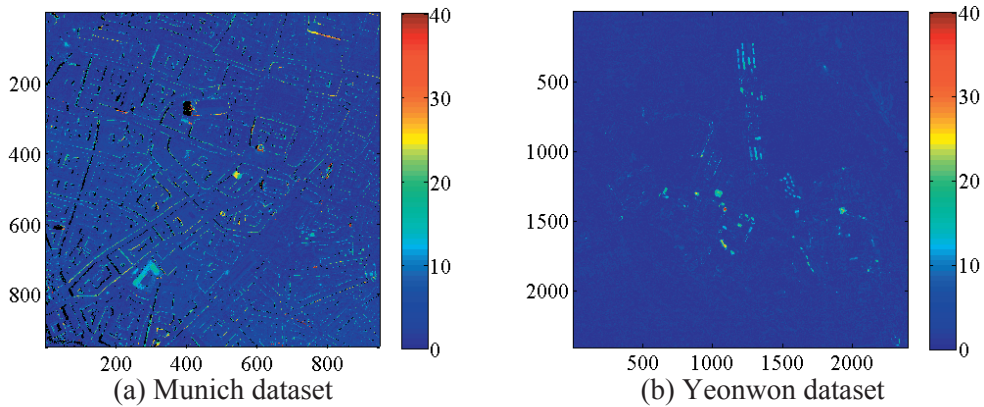


Fig. 4: DSMs absolute difference. The black pixels in (a) correspond to no-data values in at least one of the unfilled DSMs of Fig. 2.

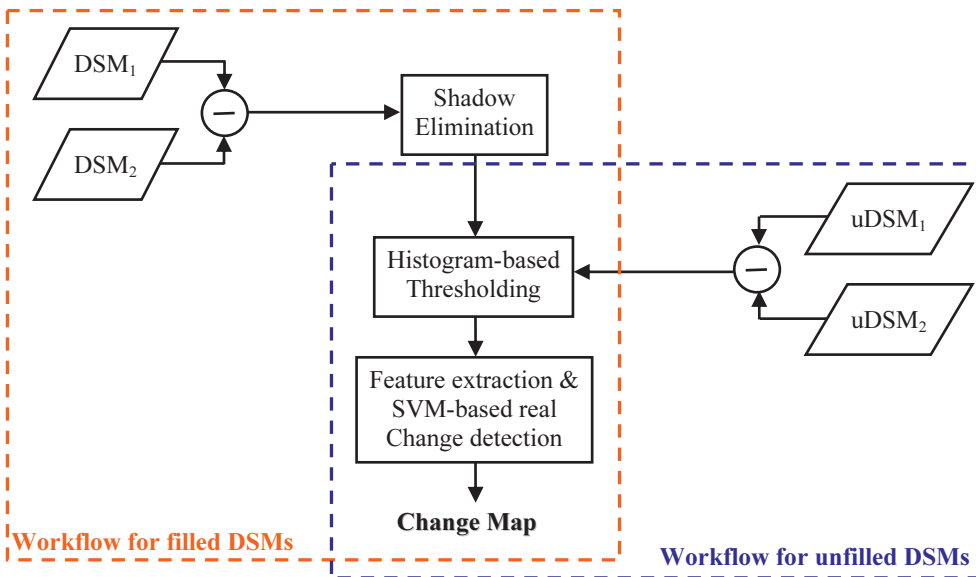


Fig. 5: Overall workflow of the proposed change detection procedure.

height computation errors (Sections 4.2 and 4.3).

- The real changes correspond to either construction/destruction of buildings or to varying levels of vegetation growth. For the Munich dataset, only changes linked to building construction/destruction are considered using several shape features. However, for the Yeonwon dataset, vegetation changes are additionally monitored since the data have been acquired in completely dif-

ferent seasons (spring and winter). Also, unlike the Munich dataset, in this case the availability of the multi-spectral data should allow accurate vegetation detection through the simple computation of the Normalized Differenced Vegetation Index (NDVI). The extracted features in both cases are then used to feed a SVM classifier to distinguish between real and virtual changes.

- The overall workflow of the proposed change detection procedure is displayed in Fig. 5.

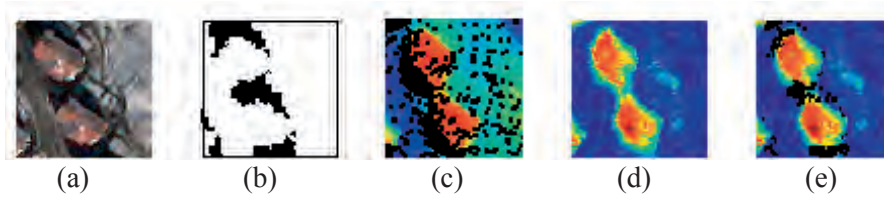


Fig. 6: Illustration of the usefulness of the shadow detection in improving the DSM quality inside urban areas. (a) Multi-spectral image. (b) Shadow mask. (c) Unfilled DSM. (d) DSMs subtraction. (e) Improved DSMs subtraction (the masked pixels are highlighted in black).

4.1 Shadow Elimination

One of the common artifacts in DSMs over urban areas comes from the filling with a coarser DSM in locally high varying height regions. Exemplarily, neighboring buildings separated by a narrow road appear usually as one connected structure in the filled version of the DSM with a quite strange shape, as can be seen in Fig. 6(a-c). Such an artifact bothers the characterization of the real changes using shape features. To recover this problem, the following shadow-hole mask has been applied to the DSM difference image:

$$\text{Mask} = (\text{Mask}_{\text{Shadow}}^L \cup \text{Mask}_{\text{Shadow}}^R) \cap \text{Mask}_{\text{Hole}} \quad (2)$$

where $\text{Mask}_{\text{Shadow}}^L$ and $\text{Mask}_{\text{Shadow}}^R$ are the shadow masks computed, according to the method of (MARCHANT & ONYANGO 2000), from the left and right stereo images, respectively, and $\text{Mask}_{\text{Hole}}$ represents the hole mask calculated from the unfilled DSM.

Fig. 6(d) illustrates well the usefulness of the shadow detection step in improving the DSM quality inside urban areas. The characterization of changes relative to single building construction/destruction becomes therefore easier through shape feature extraction.

4.2 Histogram-based Thresholding

As done in the work of (TUONG THUY et al. 2004), in order to remove the virtual changes coming from height computation errors, a histogram-based thresholding is performed on:

- the unfilled DSM difference in the case of the Munich dataset (Fig. 4(a)); and
- the DSM difference image (Fig. 4(b)) in the case of the Yeonwon dataset after applying the shadow-hole mask described by Eq. (2).

In fact, observing exemplarily the histogram of the Yeonwon dataset difference image after shadow elimination depicted in Fig. 7, it could be noticed that possible real changes are located in the tail of the histogram (far from the average value, which is close to zero).

To determine the threshold $\text{Thres}_{\text{pos}}$ relative to the possible positive changes, a histogram-based thresholding is applied as follows:

$$\text{Thres}_{\text{pos}} = \min_{k \in [0, h_{\text{pos}}^{\text{max}}]} \left(\frac{\sum_{i=0}^k h_{\text{pos}}(i)}{\sum_{i=0}^{h_{\text{pos}}^{\text{max}}} h_{\text{pos}}(i)} \right) > \alpha_{\text{pos}} \quad (3)$$

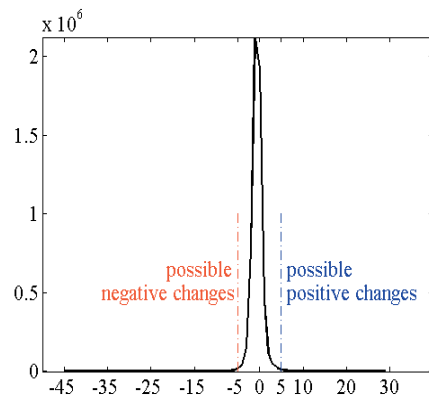


Fig. 7: Histogram of the DSM difference image whose absolute value is depicted in Fig. 4(b) after applying the shadow-hole mask. Possible real changes are located in the tail of the histogram.

where h_{pos} is the histogram relative to the positive changes, $h_{\text{pos}}^{\text{max}}$ is the maximal height difference and α_{pos} denotes the bound over which a height difference is identified as real change. The threshold $\text{Thres}_{\text{neg}}$ relative to the possible negative changes is similarly computed. In the case of the Munich and Yeonwon dataset, α -bounds of 0.7 and 0.99 have been found to be a good compromise in detecting real changes, maintaining 9 and 1.2% of the pixels for the next steps, respectively. Although these bounds have been here customized to each of the considered dataset, more automation in this thresholding step is expected in future work.

4.3 Feature Extraction and SVM-based Real Change Detection

After the thresholding step, the changes are no more treated as single pixels, but as objects which are represented through connected pixel regions after applying Eq. (3). Different features are then computed for each object in order to describe at best the real positive and negative changes.

In the case of the Munich dataset, only changes that correspond to building construction/destruction have been studied. That is why, the following shape features have been computed for each object in this work:

- area
- elongation (ratio of the major axis length and the minor axis one)

$$\text{Elongation} = \frac{\text{Major Axis Length}}{\text{Minor Axis Length}} \quad (4)$$

- eccentricity (ratio of the distance between the foci of the ellipse that has the same second-moments as the segment, and its major axis length)

$$\text{Eccentricity} = \frac{\text{Distance between the foci of the ellipse that has the same second-moments}}{\text{Major Axis Length}} \quad (5)$$

- solidity (proportion of the pixels in the convex hull that are also in the segment)

$$\text{Solidity} = \frac{\text{Area}}{\text{Area of convex hull}} \quad (6)$$

- extent (ratio of pixels in the segment to pixels in the total bounding box)

$$\text{Extent} = \frac{\text{Area}}{\text{Major Axis Length} \times \text{Minor Axis Length}} \quad (7)$$

- compactness (ratio of the square root of the area to the perimeter of the segment)

$$\text{Compactness} = \frac{2\sqrt{\pi \times \text{Area}}}{\text{Perimeter}} \quad (8)$$

In addition to the features described above, the mean and standard deviation of the height over each object have been computed.

In the case of the Yeonwon dataset, the mainly observed 3D changes are linked either to varying levels of vegetation appearance since the two stereo images have been acquired in two different seasons (spring and winter), or to building construction since a quite long period (4 years) separates the acquisition years of the two stereo image pairs. Therefore, in this case, it is first proposed to compute NDVI masks from the multi-spectral images and examine their overlaps with the change segments in order to detect changes relative to vegetation. After that, assuming that the rest of the change segments are linked to building construction, the previously described features are computed for each non-vegetation segment.

After the feature extraction step, SVM has been used to classify the segments into real and virtual changes. SVM has been run 10 times with different training and testing data to avoid any dependency between the choice of the training data and the classification results.

Fig. 8 provides the final classification maps obtained for the two studied datasets in terms

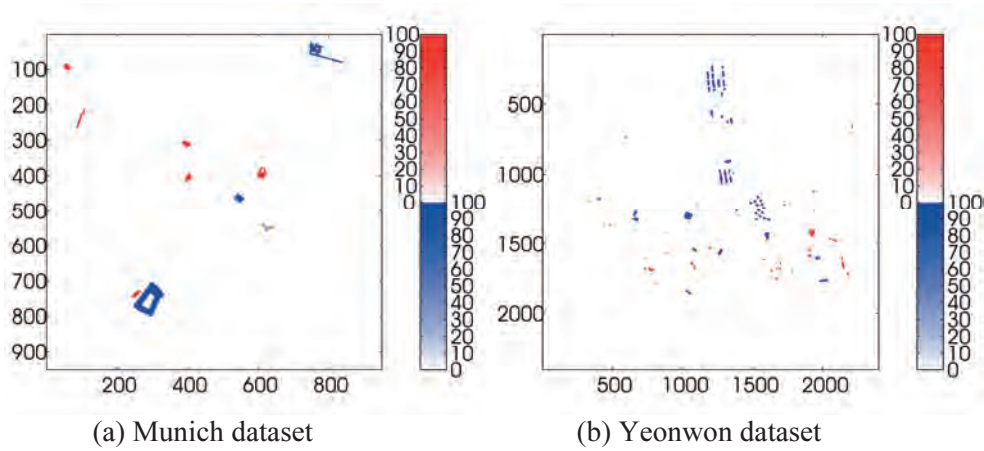


Fig. 8: Change maps: Positive (in blue) and negative (in red) changes. The degrees of blueness and redness represent the probability of each segment to be a real change.

of mean of the 10 repetitions. The degrees of redness and blueness represent the probability of each segment to be a real change: the higher the mean value of each segment is, the more probable the segment corresponds to a real change.

5 Accuracy Assessment

To assess the accuracy of the obtained change detection results, a comparison has been carried out between the change maps of Fig. 8 and the manually derived Ground truth maps

(Figs. 9 and 10). In the case of the Yeonwon dataset, only an 800×800 pixels sub-image of the change map displayed in Fig. 8(b) has been investigated in this step since the whole change map is quite large (2400×2400 pixels).

Fig. 9 shows that two of twelve changes, which can be found at the (x,y)-coordinates (640,560) and (670,570), have been missed in Munich study site. They actually correspond to some scaffoldings used during the restoration of the carillon in the tower of the old town hall in the centre of Munich. They have unusual shapes (in comparison to the rest of the changes), which makes their retrieval as real

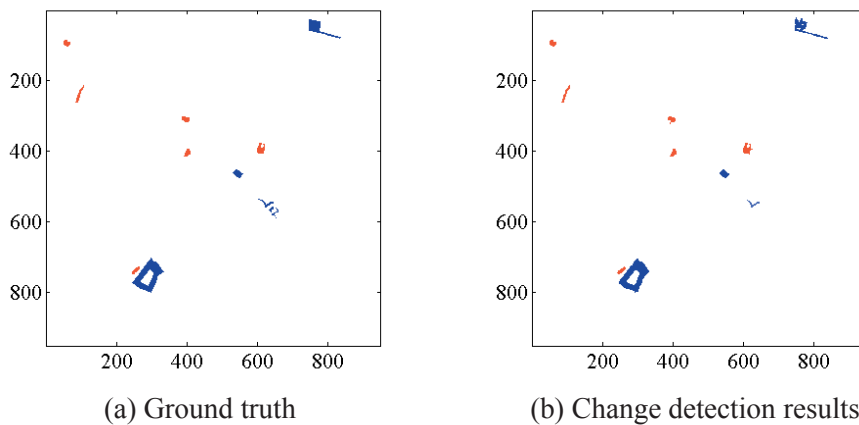


Fig. 9: Munich dataset accuracy assessment: Change detection results versus GT.

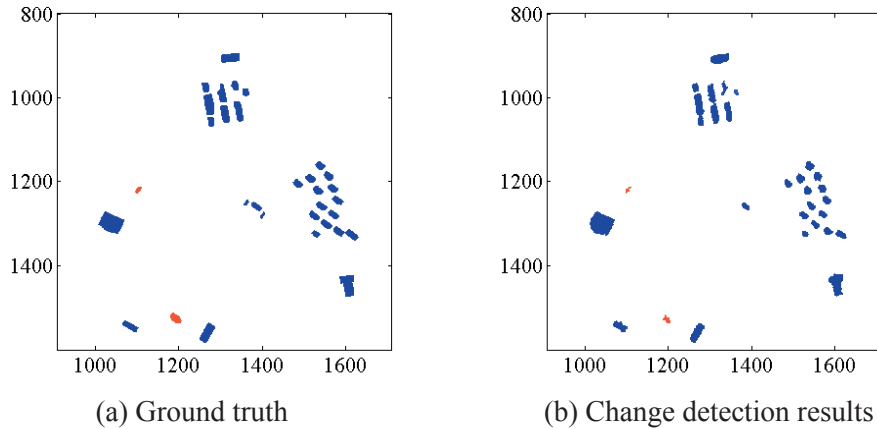


Fig. 10: Yeonwon dataset accuracy assessment (for part of the data): Change detection results versus GT.

changes with SVM based on shape features quite difficult to perform.

In the case of the Yeonwon dataset (Fig. 10), only two changes (whose centroids are located approximately at (1360,1250) and (1400,1280)) out of 32 have not been detected. They correspond actually to 3m height differences which have been removed during the thresholding step. Also the changes whose centroids are located at (1275,1010) and (1278,1055) have been detected as one connected component since their boundaries are separated only by 4 pixels.

A pixel-to-pixel evaluation of the proposed change detection approach in terms of confusion matrix, is summarized in Tab. 2 where TP (True Positive) and TN (True Negative) are the numbers of pixels classified as “Change” and “Non-change” by both maps, respectively, and FP (False Positive) and FN (False Negative) are the numbers of pixels classified as “Change” only in our change detection map or only in the Ground truth one, respectively.

Based on the quantities summarized in Tab. 2, the following objective metrics widely used in the literature (SOHN & DOWMAN 2007, EKHTARI et al. 2008), were computed to provide a quantitative assessment of our change detection algorithm:

$$\begin{aligned}
 \text{Branching Factor} &= \text{FP/TP} & (9) \\
 \text{Miss Factor} &= \text{FN/TP}, \\
 \text{Completeness(\%)} &= 100 \times \text{TP}/(\text{TP} + \text{FN}), \\
 \text{Correctness(\%)} &= 100 \times \text{TP}/(\text{TP} + \text{FP}), \\
 \text{Quality Percentage(\%)} &= 100 \times \text{TP}/(\text{TP} + \text{FN} + \text{FP}), \\
 \text{Overall Accuracy(\%)} &= 100 \times (\text{TP} + \text{TN})/(\text{TP} + \text{TN} + \text{FN} + \text{FP}).
 \end{aligned}$$

Each metric mentioned above provides its own quantitative measure for evaluating the overall performance of the algorithm. The branching and miss factors describe the two types of potential mistakes (FP and FN) that may occur in the automatic process. The completeness represents the percentage of

Tab. 2: Accuracy assessment: Pixel-to-pixel evaluation of the change detection results versus Ground truth.

Munich dataset	Ground truth		Yeonwon dataset	Ground truth	
Our results	Change	Non-Change	Our results	Change	Non-Change
Change	7085 (TP)	276 (FP)	Change	13530 (TP)	1164 (FP)
Non-Change	737 (FN)	894402 (TN)	Non-Change	3083 (FN)	622223 (TN)

“Change” pixels which are correctly detected while the correctness shows the percentage of detected “Change” pixels which belong indeed to the “Change” class. The quality percentage describes how likely a “Change” pixel produced by the automatic approach is true, and is the most stringent measure of the overall results of the six statistics. The overall accuracy is another metric which evaluates the accuracy of any classification process. It shows the percentage of correctly classified pixels.

Tab. 3 provides an evaluation of the proposed change detection algorithm in the case of the Munich and Yeonwon datasets by means of the objective metrics described in Eq. (4).

According to Tab. 3, the proposed change detection algorithm performs better in the case of the Munich dataset, especially in terms of miss factor, completeness and quality percentage. This is already expected since the corresponding DSMs have a higher quality.

From the first four objective metrics of Tab. 3, we can notice the tendency of the proposed algorithm to produce less FP pixels than FN ones. Indeed, branching factors of 0.04 and 0.08 and miss factors of slightly poor performance (0.1 and 0.22) have been obtained. Also, the two correctness rates are higher than the corresponding completeness ones. This indicates that the number of over-classified “Change” pixels is less than the number of missed “Change” pixels. Finally, the proposed change detection technique could reach a quality percentage of more than 87% when high quality DSMs are involved and a high overall accuracy of 99.89%, proving its efficiency and relatively high accuracy.

Tab. 3: Accuracy assessment: Objective metrics based evaluation of the obtained change detection results versus ground truth.

Objective Metrics	Munich dataset	Yeonwon dataset
Branching Factor	0.04	0.08
Miss Factor	0.1	0.22
Completeness (%)	90.58	81.44
Correctness (%)	96.25	92.08
Quality percentage (%)	87.49	76.11
Overall Accuracy (%)	99.89	99.34

The comparison between the object based and the pixel based change detection shows that, if one excludes the scaffolding change in Munich (which can also be seen as a virtual one), the absolute number of detected changed objects is quite high (Completeness and Correctness are 100% for the Munich case and about 94% for the Yeonwon case). So on object level this method is highly reliable even for the lower quality data set, but if one goes into the details of single pixel comparison then probably some parts of buildings are missing, the forms are not exactly given in the DSMs and therefore quality values are lower.

6 Conclusions and Perspectives

This paper suggested solutions for automatic 3D change detection inside urban areas using stereo remote sensing data with different quality. Our solutions are based on the joint use of height and spatial information. Height changes are computed through DSM subtraction followed by histogram-based thresholding. Whereas, spatial information is extracted by computing several shape features for each change. Finally, the separation between real and virtual changes is performed through SVM-based classification.

The approach is tested and evaluated using data taken from different sensors. While the first data set consists of high quality DSMs, each of which is computed from a large number of airborne image pairs, the second data set consists of lower quality DSMs, each of which is generated from only one pair of high resolution satellite stereo images. A number of common objective metrics (branching factor, miss factor, completeness, correctness, quality percentage, overall accuracy) are computed in the frame of the quantitative assessment of the developed change detection algorithm. They show that although the algorithm performs better in the case of the high quality data set, it presents quite accurate change maps also for the lower quality data set.

The results show a real progress towards automatic 3D change detection inside urban areas, although some of them might still be improved and completed. For instance, more automation of the procedure could still be

done at the histogram-based thresholding and classification levels to avoid any parameter tuning. The results can also be considered as preliminary results for some higher level applications, such as refining urban area monitoring through a more intensive exploitation of the multi-spectral information so that a wide range of man-made structures is involved. Moreover, DSMs could be further processed to identify several levels of building or vegetation growth. Future work will include such approaches.

Acknowledgements

Special acknowledgements are addressed to Dr. Franz Kurz for the generation of the Munich dataset.

The evaluation of the proposed change detection approach using the Ikonos data was produced in the context of the GMOSAIC project, co-funded by the European Commission within the 7th Framework Program. It is intended only for evaluation purposes and not for redistribution or resale.

References

- BURGES, C., 1998: A Tutorial on Support Vector Machines for Pattern Recognition. – Kluwer Academic Publishers, Boston, Data Mining and Knowledge Discovery **2**: 121–167.
- CHAABOUNI-CHOUAYAKH, H., D'ANGELO, P., KAUSS, T. & REINARTZ, P., 2011: Automatic Urban Area Monitoring Using Digital Surface Models and Shape Features. – Joint Urban Remote Sensing Event, Munich, Germany, on CD.
- D'ANGELO, P., LEHNER, M., KRAUSS, T., HOJA, D. & REINARTZ, P., 2008: Towards Automated DEM Generation from High Resolution Stereo Satellite Images. – The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences **37** (B4): 1137–1342.
- EKHTARI, N., SAHEBI, M.R., VALADAN ZOEJ, M.J. & MOHAMMADZADEH, A., 2008: Automatic Building Detection From Lidar Point Data. – The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences **37** (B4): 473–478.
- GONG, P., BIGING, G.S. & STANDIFORD, R., 2000: Use of Digital Surface Model for Hardwood Rangeland Monitoring. – Journal of Range Management **53** (6): 622–626.
- HEIPKE, C., OBERST, J., ALBERTZ, J., ATTWENGER, M., DORNINGER, P., DORRER, E., EWE, M., GEHRKE, S., GWINNER, K., HIRSCHMÜLLER, H., KIM, J.R., KIRK, R., MAYER, H., MULLER, P., RENGARAJAN, M., RENTSCH, M., SCHMIDT, R., SCHOLTEN, F., SHAN, J., SPIEGEL, M., WÄHLISCH, M., NEUKUM, G. & HRSC CO-INVESTIGATOR TEAM, 2007: Evaluating planetary digital terrain models – The HRSC DTM test. – Planetary and Space Science **55** (14): 2173–2191.
- HELLER, A.J., LECLERC, Y.G. & LUONG, Q.T., 2001: A Framework for Robust 3-D Change Detection. – SPIE, Toulouse, France, on CD.
- HIRSCHMÜLLER, H., 2008: Stereo Processing by Semiglobal Matching and Mutual Information. – IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence **30** (2): 328–341.
- HOLLANDS, T., BOSTRÖM, G., GONCALVES, J.G.M., GUTJAHR, K., NIEMEYER, I. & SEQUEIRA, V., 2007: 3D Scene Change Detection from Satellite Imagery. – 29th Symposium on Safeguards and Nuclear Material Management, on CD.
- KURZ, F., MÜLLER, R., STEPHANI, M., REINARTZ, P. & SCHROEDER, M., 2007: Calibration of a Wide-Angle Digital Camera System for Near Real Time Scenarios. – The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, **36** (I/W51): on CD.
- LU, D., MAUSEL, P., BRONZIO, E. & MORAN, E., 2004: Change Detection Techniques. – International Journal of Remote Sensing **25** (12): 2365–2407.
- MARCHANT, J.A. & ONYANGO, C.M., 2000: Shadow-Invariant Classification for Scenes Illuminated by Daylight. Journal of the Optical Society of America A: Optics, Image Science, and Vision **17** (11): 1952–1961.
- MATIKAINEN, L., HYYPPÄ, J., AHOKAS, E., MARKELIN, L. & KAARTINEN, H., 2010: Automatic Detection of Buildings and Changes in Buildings for Updating of Maps. – Remote Sensing **2**: 1217–1248.
- RADKE, R. J., ANDRA, S., AL-KOFAHI, O. & ROYSAM, B., 2005: Image Change Detection Algorithms: A Systematic Survey. – IEEE Transactions on Image Processing **14** (3): 294–307.
- SOHN, G. & DOWMAN, I., 2007: Data Fusion of High-resolution Satellite Imagery and LiDAR Data for Automatic Building Extraction. – ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing **62** (1): 43–63.
- TIAN, J., CHAABOUNI-CHOUAYAKH, H. & REINARTZ, P., 2011: 3D Building Change Detection from High Resolution Spaceborne Stereo Imagery. – International Workshop on Multi-platform/multi-sensor Remote Sensing and Mapping, on CD.

TUONG THUY, VU, MATSUOKA, M. & YAMAZAKI, F.,
2004: LIDAR-based Change Detection of Build-
ings in Dense Urban Areas. – IEEE International
Geoscience and Remote Sensing Symposium **5**:
3413–3416.

Address of the Authors:

Dr. HOUDA CHAABOUNI-CHOUAYAKH, Prof. Dr.-Ing.
PETER REINARTZ, German Aerospace Center (DLR),
Remote Sensing Technology Institute, 82234 Wes-
sling, Tel.: +49-8153-28-2756, -2757, Fax: -1444, e-
mail: Houda.Chaabouni@dlr.de, Peter.Reinartz@
dlr.de

Manuskript eingereicht: Januar 2011

Angenommen: April 2011





Detektion von zerstörten Gebäuden in Krisengebieten aus panchromatischen Fernerkundungsdaten

SASCHA KLONUS, MANFRED EHLERS, DANIEL TOMOWSKI, Osnabrück, ULRICH MICHEL, Heidelberg & PETER REINARTZ, Oberpfaffenhofen

Keywords: Change detection, Fourier, edge detection, segmentation, texture parameters

Summary: *Detection of Damaged Buildings in Crisis Areas from Panchromatic Remote Sensing Data.* This paper focuses on change detection in areas where catastrophic events took place which resulted in rapid destruction especially of man-made structures. Standard methods for automated change detection prove not to be sufficient; therefore a new method is developed and tested. The presented method allows a fast detection and visualization of change in areas of crisis or catastrophes. This is an important requirement for planning and coordination of help. The proposed method is based on frequency analysis, segmentation and texture parameters. Ultimately, this method combines different approaches in a decision tree. This combined approach shows superior results when tested against to five standard change detection methods.

Zusammenfassung: Das Ziel dieses Artikels ist die Analyse von Veränderungen in Gebieten, in denen sich Katastrophen mit plötzlichen Änderungen an Gebäuden und der Infrastruktur ereignet haben. Standardverfahren der Veränderungsanalyse führen zu keinem zufriedenstellenden Ergebnis, daher wurde ein neues Verfahren entwickelt. Die in diesem Artikel dargestellte Methode erlaubt eine schnelle Detektion und Visualisierung von Veränderungen in Krisen- und Katastrophengebieten. Dies ist eine wichtige Voraussetzung für die Planung und Koordination von Hilfskräfteeinsätzen. Die vorgeschlagene Methode basiert auf Frequenzanalysen, Segmentierung und Texturmerkmalen. Sie kombiniert die unterschiedlichen Ansätze in einem Verfahren mittels eines Entscheidungsbaumes. Im Vergleich mit fünf Standardverfahren zeigte dieser neue Ansatz die besten Resultate.

1 Einleitung

Change Detection oder auch Veränderungsdetektion ist ein Verfahren zum Erfassen von Veränderungen an Objekten oder Phänomenen zwischen unterschiedlichen Zeitpunkten. Die Ursachen für Veränderungen können natürlicher, aber auch anthropogener Art sein. Der Zeitraum zwischen einem Zustand (T1) und einem anderen veränderten Zustand (T2), kann mehrere Jahre betragen (z. B. klimatische oder geologische Veränderungen), saisonal begrenzt (z. B. Veränderungen der Landnutzung) oder kurzfristig sein (z. B. Veränderung durch Naturkatastrophen). Speziell bei den Veränderungen, die durch Katastrophen verursacht werden, kommt es zu starken infrastrukturellen und damit auch humanitären Schäden. Die schnelle Detektion und Visuali-

sierung von Veränderungen in Krisenregionen ist eine bedeutende Voraussetzung für die Planung und Koordination von Hilfeinsätzen.

Daher wurden in der Fernerkundung bereits viele Verfahren entwickelt und angewandt. Eine Übersicht über bestehende Verfahren geben z. B. COPPIN et al. (2004), SINGH (1989), MACLEOD & CONGALTON (1998), MAS (1999) oder LU et al. (2003). Nach MAS (1999) können Verfahren zur Veränderungsdetektion in drei Kategorien eingeteilt werden: (1) Bildverbesserung (image enhancement), (2) multitemporale Analysen und (3) Postklassifikationsansätze (post classification change detection). Andere Verfahren kombinieren unterschiedliche Methoden oder schlagen neue Ansätze vor (LU et al. 2003).

Bildverbesserungen basieren auf den unklassifizierten Bilddaten und kombinieren

diese numerisch, um die Bildqualität zu verbessern (IM et al. 2008). Beispiele hierfür sind Bildsubtraktion und -division sowie Hauptkomponenten- oder Regressionsanalyse.

Multitemporale Ansätze (COPPIN et al. 2004) beinhalten eine zeitgleiche Analyse von multitemporalen Daten. N Kanäle eines Bildes zum Zeitpunkt 1 (T_1) werden mit den N Kanälen eines zweiten Bildes vom Zeitpunkt 2 (T_2) kombiniert, um ein multitemporales Bild mit $2N$ Kanälen zu erzeugen. Dieses Bild wird dann verwendet, um die gesuchten Informationen abzuleiten (KHORRAM et al. 1999).

Postklassifikationsansätze basieren auf dem Vergleich von unabhängig voneinander erzeugten Klassifikationen von Bilddaten unterschiedlicher Aufnahmezeitpunkte. Diese Methode erlaubt die Art der Veränderung von einer Klasse zu einer anderen abzuschätzen. Dieses Verfahren ist allerdings sehr stark abhängig von der Genauigkeit der klassifizierten Daten.

Die hohe Anzahl von Publikationen, die sich mit automatisierten oder semi-automatisierten Verfahren zur Analyse von Veränderungen beschäftigt, zeigt die Bedeutung dieses Themas in der Forschung. So kombinieren PRAKASH & GUPTA (1998) Bildsubtraktion mit Vegetationsindizes, während LU et al. (2003) die Subtraktion mit einer Hauptkomponentenanalyse verknüpfen. DAI & KHORRAM (1999) verwenden neuronale Netze und FOODY (2001) sowie NEMMOUR & CHIBANI (2006) Fuzzy-Ansätze. Andere Verfahren basieren auf Objektanalysen (IM et al. 2008, LOHMANN et al. 2008).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass eine große Anzahl von unterschiedlichen Verfahren für verschiedenartige Anwendungen entwickelt wurde. Nach NIEMEYER & NUSSBAUM (2006) besitzen diese Verfahren jeweils einen unterschiedlichen Grad an Flexibilität, Robustheit, Anwendbarkeit und Signifikanz. Übereinstimmung herrscht grundsätzlich, dass kein einzelner bester Algorithmus für die Analyse aller möglichen Veränderungen existiert (JANYA et al. 2008). Daher werden weiterhin Verfahren verbessert oder neu entwickelt und angewandt, speziell auch für die Detektion von Veränderungen an Gebäuden oder anderer Infrastruktur. Auch dieser Artikel macht keine Ausnahme, da sich die

Standardverfahren bei unseren Auswertungen als nicht zufriedenstellend erwiesen (siehe Abschnitt 3). Die Verfahren werden an hochauflösenden Satellitendaten für die Krisenregion Darfur im Sudan getestet.

Das Ziel dieser Untersuchung ist die Entwicklung eines verlässlichen Verfahrens, das im Wesentlichen automatisiert, also ohne Eingaben vom Benutzer zerstörungsbedingte Veränderungen in geometrisch hochauflösenden Satellitendaten findet. Dieser Algorithmus soll bei Katastrophen oder humanitären Krisen Verwendung finden. Die eingesetzten Methoden basieren auf einer Kombination von Analysen im Frequenzraum sowie Segmentierung und Texturmerkmalen. Entwicklung und Anwendung dieser kombinierten Methode (CEST = Combined Edge Segment Texture) sind Grundlage dieses Artikels.

2 Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet liegt im Osten des Sudans (Abb. 1). Die abgebildete Stadt Abu Suruj hat sich während des Darfur-Konfliktes stark verändert. Der Konflikt wurde zwischen unterschiedlichen ethnischen Gruppen und der sudanesischen Regierung ausgetragen. Die Rebellen von subsaharischen afrikanischen Stämmen forderten eine höhere Beteiligung in der Regierung und die Entwicklung ihrer Region. Die Regierung kämpfte gegen diese Rebellen und unterstützte lokale Kräfte, die aus arabischen Reitermilizen bestehen (Janjawid). Amnesty International dokumentiert diese Entwicklung auf seiner Webseite (www.eyesondarfur.org) und setzt zur Visualisierung der Zerstörungen multitemporale Satellitenbilder ein. Die multitemporalen Daten für diesen Artikel wurden vom Satelliten Quickbird-2 aufgenommen und zeigen beispielhaft einen Ausschnitt der Stadt Abu Suruj. Es wird geschätzt, dass bereits mehr als 300.000 Menschen in diesem Konflikt getötet und mehr als zwei Millionen vertrieben wurden (www.eyesondarfur.org). Ob dieser Konflikt durch die Unabhängigkeit des Südsudans beendet ist, wird sich allerdings noch zeigen müssen. Zumindest stimmte eine überwältigende Mehrheit der Bevölkerung für die Unabhängigkeit des Südsudans.

Aus der dargestellten Szene wurde zur besseren Visualisierung ein 280×350 Pixel großer Ausschnitt gewählt (Abb. 2). Die Bilder wurden von Quickbird-2 am 2. März 2006 (vor dem Angriff) und am 28. Februar 2008 (nach dem Angriff) aufgenommen. Diese Bilder wurden von DigitalGlobe zur Verfügung gestellt. Im linken Bild (T1) erkennt man einzelne Rundhütten und die umgebenden Zäune. Im rechten Bild wurden alle diese Hütten und Zäune zerstört. Es wurden allerdings auch neue Gebäude, Zäune und Zelte (weiße Rechtecke) errichtet.

3 Detektion von Veränderung durch Standardverfahren

Um Veränderungen in der Szene von Abu Suruj zu ermitteln, wurden zunächst Standardverfahren angewandt, die in proprietären Softwareprodukten zur Verfügung standen. Diese Methoden sind Bildsubtraktion (SINGH 1989), -division (JENSEN 2005), Hauptkomponentenanalyse (SCHOWENGERDT 2007), Postklassifikationsanalyse (JENSEN 2005) und Delta Cue (ERDAS 2009).

Für die Bildsubtraktion und -division, sowie für die Hauptkomponentenanalyse (PCA)

wurden Grenzwerte bestimmt, um zwischen den Veränderungen zu unterscheiden. Für die Postklassifikationsanalyse wurde jeder Datensatz mit dem unüberwachten ISODATA Algorithmus klassifiziert. Anschließend wurden drei Klassen identifiziert: Neue Gebäude, veränderte oder zerstörte Gebäude und Hintergrund bzw. unveränderte Gebäude.

Delta Cue ist eine Kombination aus unterschiedlichen Verfahren. Diese Verfahren werden in einem integrierten Auswerteprozess kombiniert. Auch in diesem Verfahren findet eine Bildsubtraktion statt. Allerdings wird die Subtraktion zweimal gebildet, jeweils durch T1 und T2 dividiert und anschließend aufsummiert:

$$\frac{T1-T2}{|T1|} + \frac{T1-T2}{|T2|} \quad (1)$$

Im nächsten Schritt wird auch hier ein Grenzwert gebildet, um zwischen realen und Pseudo-Veränderungen zu unterscheiden. Um die veränderten Gebäuden zu identifizieren, werden unterschiedliche geometrische Eigenschaften wie Fläche, Ausdehnung, Kompaktheitsgrad und Nachbarschaften verwendet. Die Nachbarschaften bilden ein Objekt, von dem der maximale und minimale Durchmes-

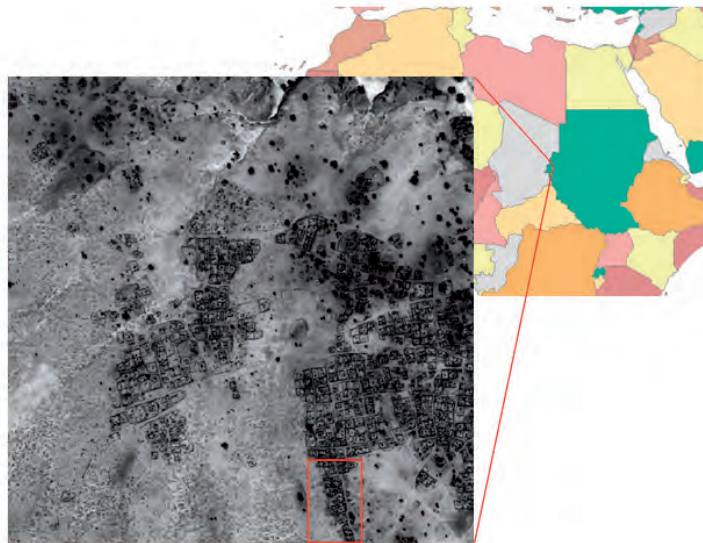


Abb. 1: Lage des Untersuchungsgebietes im Osten des Sudans und Quickbird Bild (2048 x 2048 Pixel).

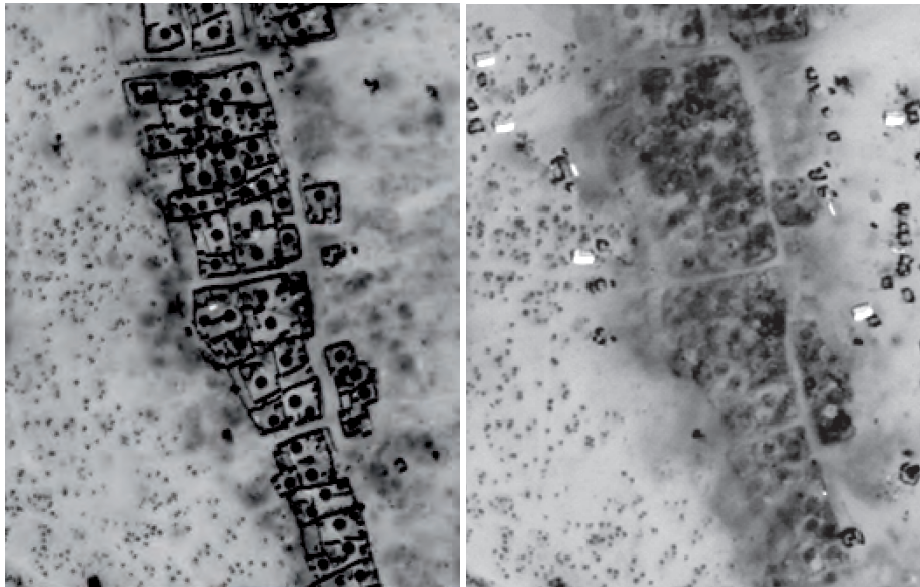


Abb. 2: Ausschnitt der panchromatischen Quickbird-2 Szene der Stadt Abu Suruj (280 x 350 Pixel), T1 aufgenommen am 2. März 2006 (links) und T2 aufgenommen am 28. Februar 2008 (rechts).

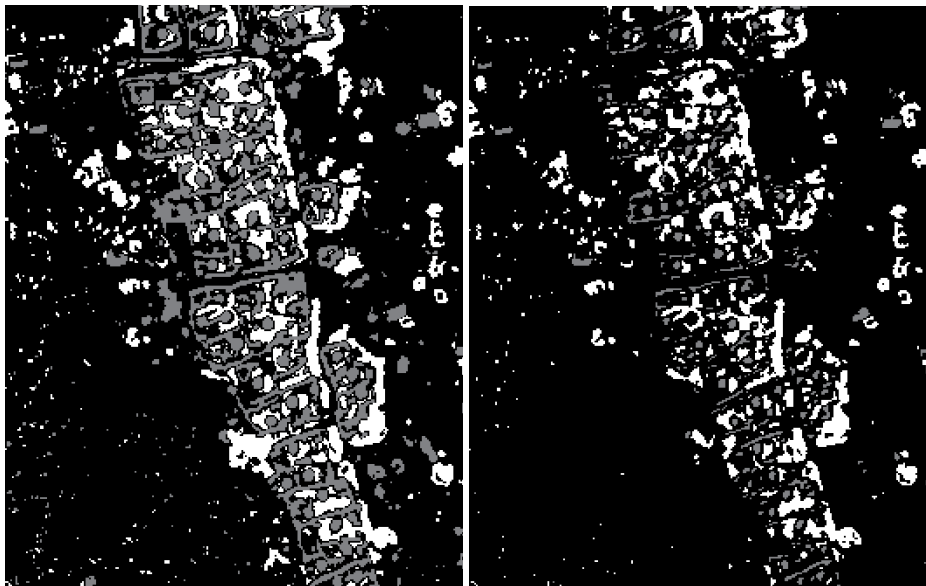


Abb. 3: Ergebnis der Veränderungsdetektion mittels Subtraktion (links) und Division (rechts). Neue Gebäude erscheinen in weiß, unveränderte Regionen in schwarz und veränderte Gebäude in grau.

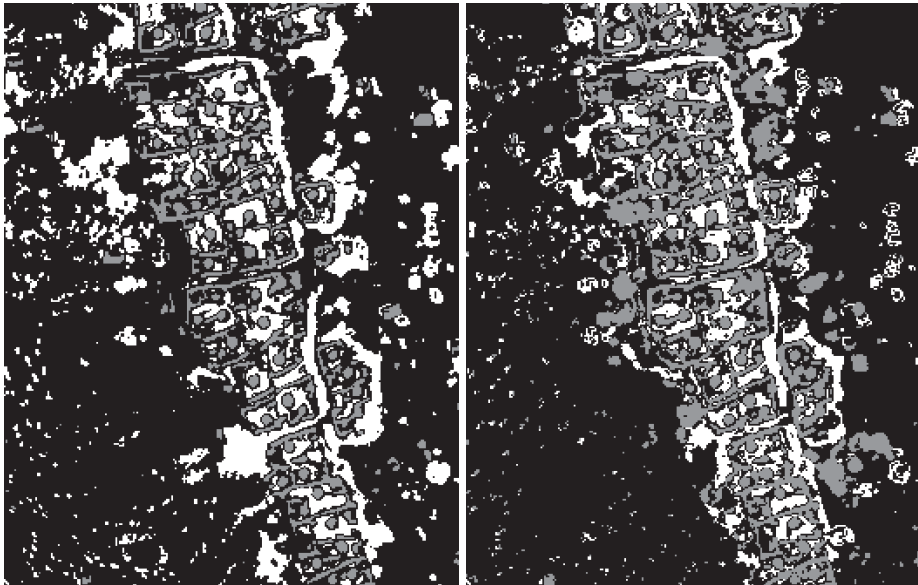


Abb. 4: Ergebnis der Veränderungsdetektion nach PCA (links) und Postklassifikation (rechts). Neue Gebäude erscheinen in weiß, unveränderte Regionen in schwarz und veränderte Gebäude in grau.

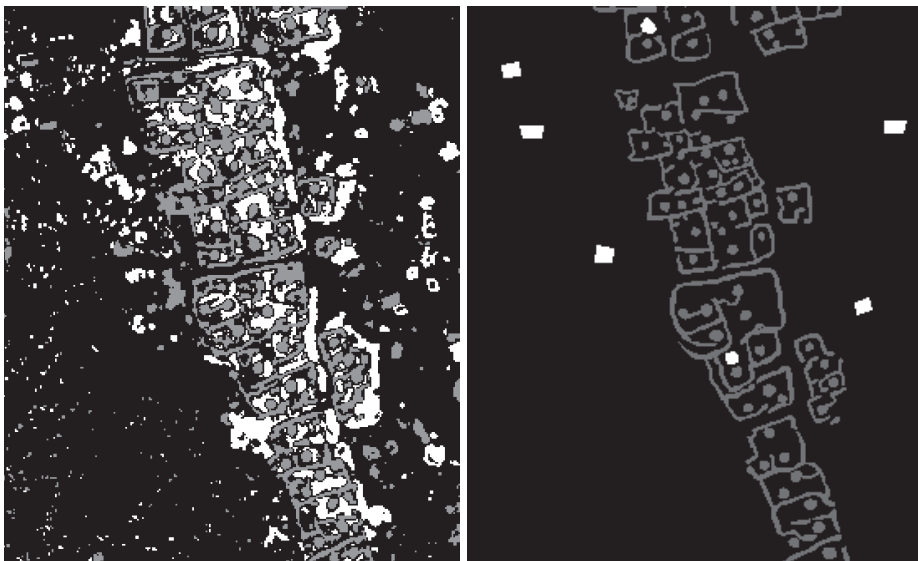


Abb. 5: Ergebnis der Veränderungsdetektion mittels Delta Cue (links), digitalisierte Referenz (rechts). Neue Gebäude erscheinen in weiß, unveränderte Regionen in schwarz und veränderte Gebäude in grau.

ser bestimmt werden kann und somit weitere Eigenschaften abgeleitet werden können.

Mittels dieser Standardverfahren wurden zunächst Veränderungsanalysen für die Szenen aus Abb. 2 durchgeführt. Die Ergebnisse werden in Abb. 3–5 dargestellt. Die manuell digitalisierte Referenz zeigt Abb. 5 rechts.

An den Bildern ist gut zu erkennen, dass bei allen Verfahren sowohl neue als auch veränderte Gebäude erkannt wurden. Vergleicht man allerdings die Ergebnisse mit dem Original (Abb. 2) und der Referenz (Abb. 5 rechts) so erkennt man, dass die Gebäude im Zentrum alle zerstört wurden, während neue Gebäude fast nur an den Aussenseiten errichtet wurden. Bei den Verfahren werden zwar auch die meisten zerstörten Gebäuden erkannt, aber insbesondere zwischen den Gebäuden kommt es zu Pseudo-Veränderungen. Dort werden neu gebaute Gebäude falsch detektiert. Zudem wird ein großer Teil der Landschaft ebenfalls als Gebäudeveränderung eingestuft.

Diese hohen Ungenauigkeiten führten dazu, ein neues Verfahren zu entwickeln, das die Veränderungen insbesondere von Gebäuden mit einer höheren Genauigkeit erfasst. Da die Standardverfahren vom Benutzer angepasst werden müssen, damit sie auf andere Gebiete übertragbar sind, soll das neu entwickelte Verfahren außerdem automatisiert auf unterschiedliche Szenarien anwendbar sein.

3 CEST (Combined Edge Segment Texture)

Die neu entwickelte CEST-Methode kombiniert drei unterschiedlichen Ansätze zur Veränderungsdetektion: Frequenzbasierte Filterung, Segmentierung und Ableitung von Texturmerkmalen. Die frequenzbasierte Filterung wird verwendet, da sie die direkte Identifizierung von relevanten Merkmalen (wie z. B. Kanten von Gebäuden) erlaubt. Um auch bei nur teilweisen Zerstörungen, bei denen Kanten (= Wände) erhalten bleiben, Veränderungen zu entdecken, werden Texturmerkmale eingesetzt. Segmentierungsverfahren werden genutzt, um Form und Größe der Objekte zu ermitteln. Diese drei Ansätze werden in einem Entscheidungsbaum kombiniert, um die höchste Genauigkeit bei der Veränderungsanalyse zu erzielen.

Für die CEST-Entwicklung wurden zunächst vier Methoden getestet, die auf Filterung im Frequenzraum basieren (BRIGHAM 1997, EHLERS 1984). Bei allen Verfahren werden zunächst die Bilder mit einer FFT (Fast Fourier Transform) in den Frequenzraum überführt. Spezielle Bandpassfilter extrahieren die Frequenzen, die den Objektkanten von Gebäuden entsprechen (KLONUS et al. 2010). Beste Ergebnisse werden mit einem anschließenden Canny Kantenfilter (CANNY 1986) im Ortsraum erzeugt. Anschließend werden die detektierten Kanten voneinander subtrahiert. Mittels Grenzwerten und morphologischen Operationen wird das Resultat optimiert. Ein Vergleich der unterschiedlichen Verfahren zeigt, dass der Kantenfilter die besten Ergebnisse erzeugt und daher auch für diese Auswertung verwendet wird.

Für das Segmentierungsverfahren wird eine Segmentierung basierend auf der euklidischen Distanz verwendet. Mit diesem Verfahren werden die Szenen T1 und T2 segmentiert. Innerhalb der Segmente von T1 werden nun die Korrelation zwischen T1 und T2 berechnet. Um auch Objekte zu berücksichtigen, die nur in T1 bzw. T2 vorkommen, wird ebenfalls unter Nutzung der Segmente von T2 die Korrelation zwischen T2 und T1 berechnet. Die beiden Korrelationsergebnisse werden dann miteinander kombiniert (KLONUS et al. 2010). Die Klassenbreite der Segmente wird dabei über den maximalen Grauwertbereich GW_{max} ermittelt. Ausgehend von einem Saapixel werden die Nachbarelemente dem Segment des Saapixels zugeordnet, wenn deren Grauwert um nicht mehr als $0,1 \times GW_{max}$ von diesem abweichen. Für alle Segmentwerte wird jeweils ein neuer Mittelwert berechnet, der dann die Rolle des Saapixels einnimmt. Das Verfahren kann iterativ ein zweites Mal durchlaufen werden, liefert aber auch schon in einem Durchgang brauchbare Segmentierungsergebnisse.

Bei den Texturmerkmalen werden insgesamt 16 verschiedene Kombinationen getestet. Zunächst wird die gray-level co-occurrence matrix (GLCM) berechnet (HARALICK et al. 1973, HARALICK & SHAPIRO 1992). Auf Grundlage der GLCM werden dann vier weitere Texturmerkmale in einem 13×13 Pixel großen Fenster berechnet: Kontrast, Korrelation, En-

ergie und IDM (inverse distance moment). Diese Merkmale werden sowohl für die T1 als auch für die T2 Szene berechnet. Für jedes Merkmal werden die Szenen T1 und T2 mit einer Histogrammanpassung einander angeglichen. Diese Szenen dienen als Eingabe für unterschiedliche Verfahren zur Veränderungsanalyse: Subtraktion und Division sowie PCA und Regressionsanalyse. Die besten Ergebnisse werden hierbei von den Texturmerkmalen IDM und Energie erreicht (TOMOWSKI et al. 2010a, 2010b). Diese werden daher auch in die CEST Methode integriert. Die Schwellwerte für die Texturmerkmale werden über eine unüberwachte Klassifikation ermittelt.

Segmentierung, Kantendetektion im Ortsraum nach Filterung im Frequenzraum und die beiden Texturmerkmale werden dann mittels eines Entscheidungsbaumes kombiniert (Abb. 6). Jeder Pixel der Eingangsdaten wird dabei auf folgende Weise prozessiert: Die Basis stellt dabei das Resultat der Kantendetektion dar. Wird das Pixel dort als unverändert klassifiziert, so wird das Pixel im Ergebnis-

bild ebenfalls als unverändert deklariert. Es wird ebenfalls als unverändert klassifiziert, wenn das Pixel im Ergebnis des Texturmerkmals Energie ebenfalls als unverändert befunden wird. Gehört das klassifizierte Pixel bei der Kantendetektion zu einem neuen Gebäude, so wird es auch im Ergebnisbild als neues Gebäude deklariert, wenn eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist: Das Ergebnis der Segmentierung zeigt ebenfalls eine Veränderung oder das Resultat des Texturmerkmals Energie oder des Texturmerkmals IDM zeigen ein neues Gebäude an. Andernfalls wird das Pixel als unverändert im Ergebnisbild markiert. Wird das Pixel im Kantenbild als verändert detektiert, so wird es auch im Ergebnisbild als verändert markiert, wenn eine der folgenden Bedingungen erfüllt ist: Das Ergebnis der Segmentierung, IDM oder des Texturmerkmals Energie zeigen ebenfalls eine Veränderung an. Andernfalls wird das Pixel als unverändert im Ergebnisbild markiert.

Das Ergebnisbild zeigt Abb. 7. Die CEST-Methode erkennt die Gebäude im Zentrum als

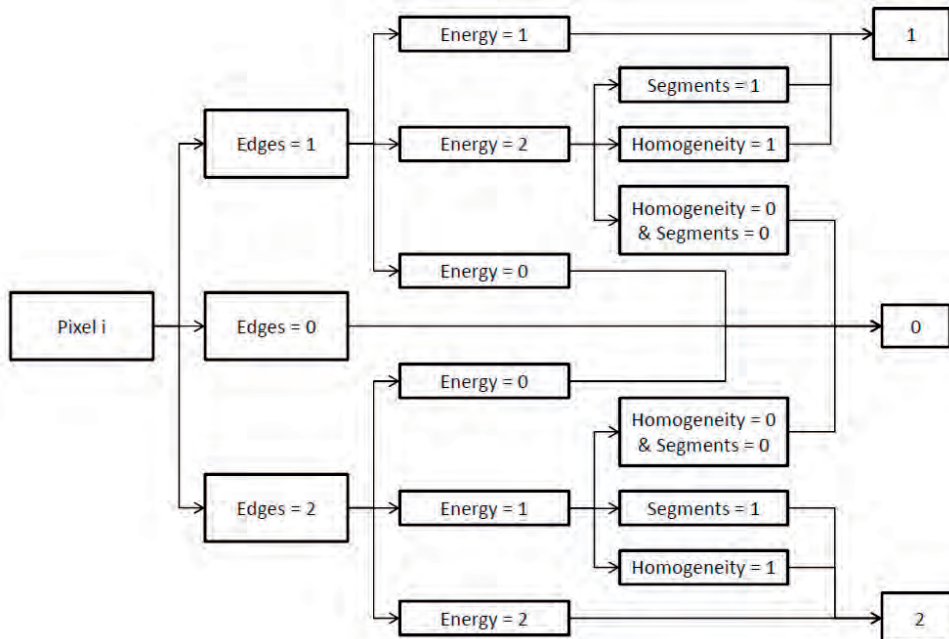


Abb. 6: Entscheidungsbaum der CEST Methode. Edges = Resultate der Kantendetektion nach Filterung im Frequenzraum. Segments = Resultate der Veränderungsdetektion mittels Segmentierung. Homogeneity und Energy = Resultate der Veränderungsdetektion mit den Texturmerkmalen. Die Nummern beziehen sich dabei auf die folgenden drei Klassen: Klasse 1 = veränderte oder zerstörte Gebäude, Klasse 2 = neue Gebäude und Klasse 0 = unveränderte Gebäude.

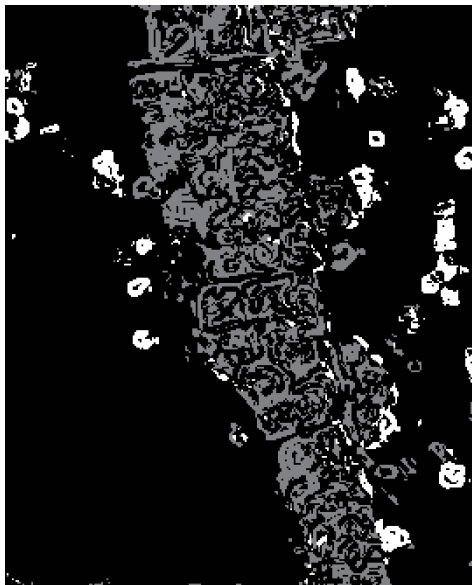


Abb. 7: Ergebnis der Veränderungsdetektion mit CEST, neue Gebäude in weiß, unveränderte Regionen in schwarz und veränderte Gebäude in grau.

verändert und findet auch die neu hinzugekommenen Gebäude. Zudem erkennt man deutlich weniger Pseudo-Veränderungen in der Umgebung.

4 Genauigkeitsanalyse

Zur Überprüfung der Genauigkeit der Standardverfahren und der CEST-Methode, wurde eine Genauigkeitsanalyse der Ergebnisse der Veränderungsanalyse durchgeführt. Für die

Veränderungsanalyse wurden vier Klassen ausgewählt:

- Klasse 0 = unveränderte Gebäude
- Klasse 1 = veränderte oder zerstörte Gebäude
- Klasse 2 = neue Gebäude
- Klasse 3 = veränderte und unveränderte Vegetation

Die Klasse 3 wurde eingeführt, um zwischen Veränderungen an Vegetation und Veränderungen an Gebäuden zu unterscheiden. Da der Fokus dieser Untersuchung auf Veränderungen an Gebäuden liegt, sollen Vegetationsveränderungen ausgeschlossen werden. Dieses wird durch eine neue Klasse ‚Veränderte und unveränderte Vegetation‘ erreicht.

Als Referenz diente eine manuell digitalisierte Karte der Gebäude (Abb. 5 rechts). Um die gleiche Anzahl an Referenzpunkten für jede Klasse zu erhalten, wurden alle Objekte aus Klasse 0 verwendet (404 Objekte), da diese Klasse die geringste Anzahl von Objekten aufwies. Aus Klasse 1 und 2 wurden dann per Zufallsgenerator die gleiche Anzahl an Objekten ausgewählt. Wenn wenigstens 50% der Pixel innerhalb eines Objektes die korrekte Klasse anzeigten, so wurde das Objekt als korrekt klassifiziert anerkannt. Da für die Klasse 4 keine digitalisierten Objekte zur Verfügung standen, wurde wiederum per Zufallsgenerator die gleiche Anzahl an Pixeln wie Objekte in Klasse 0 (404) ausgewählt. Hersteller- und Nutzergenauigkeit sowie Kappa-Koeffizient wurden für die einzelnen Methoden berechnet. Die Ergebnisse der Genauigkeitsanalyse beziehen sich auf die gesamte Szene

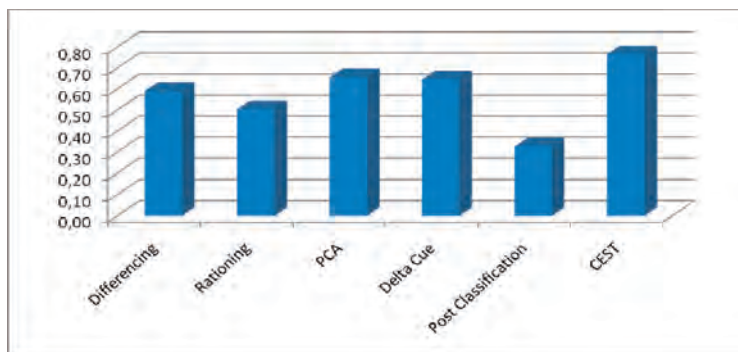


Abb. 8: Kappa-Koeffizient der Genauigkeitsanalyse von Abu Suruj.

Tab. 1: Ergebnisse der Genauigkeitsanalyse für die Bildsubtraktion in %.

	Veränderte Gebäude	Neue Gebäude	Unveränderte Gebäude	Vegetation	Nutzer-genauigkeit
Veränderte Gebäude	152	3	91	22	56,72
Neue Gebäude	6	290	1	16	92,65
Unveränderte Gebäude	246	111	312	0	46,64
Vegetation	0	0	0	366	100,00
Herstellergenauigkeit	37,62	71,78	77,23	90,59	

Tab. 2: Ergebnisse der Genauigkeitsanalyse für die Bilddivision in %.

	Veränderte Gebäude	Neue Gebäude	Unveränderte Gebäude	Vegetation	Nutzer-genauigkeit
Veränderte Gebäude	33	2	48	5	37,50
Neue Gebäude	70	374	90	50	64,04
Unveränderte Gebäude	301	28	258	0	43,95
Vegetation	0	0	0	349	100,00
Herstellergenauigkeit	8,17	92,57	63,86	86,39	

Tab. 3: Ergebnisse der Genauigkeitsanalyse für die PCA in %.

	Veränderte Gebäude	Neue Gebäude	Unveränderte Gebäude	Vegetation	Nutzer-genauigkeit
Veränderte Gebäude	226	3	118	12	62,95
Neue Gebäude	10	379	7	71	81,16
Unveränderte Gebäude	168	22	273	0	58,96
Vegetation	0	0	0	321	100,00
Herstellergenauigkeit	55,94	93,81	67,57	79,46	

(Abb. 1) und werden in Tab. 1–6 (Genauigkeiten in %) und Abb. 8 (Kappakoeffizient) dargestellt.

In Tab. 1 kann man erkennen, dass die Subtraktion die neuen Gebäude überwiegend gut identifizieren kann. Gebäude, die sich allerdings nicht verändert haben, werden oft als zerstört oder verändert erkannt.

Tab. 2 zeigt das Ergebnis der Bilddivision. Die Mehrheit der Objekte wurde als neue Gebäude erkannt. Wie bei der Subtraktion werden unveränderte Gebäude oft als zerstört oder verändert detektiert. Nur 8,17% der veränderten Gebäude werden tatsächlich als solche erkannt; für eine Veränderungsanalyse ist dieses Ergebnis unbrauchbar.

Auch bei der Veränderungsanalyse mittels PCA wird die Mehrheit der Objekte als neue Gebäude erkannt, wie schon bei der Bildsubtraktion und Division. Beinahe 45% der unveränderten Gebäude werden als verändert bzw. zerstört erkannt. Andererseits werden 30% der zerstörten Gebäude als unverändert klassifiziert (Tab. 3).

Die Veränderungsanalyse mit der Postklassifikation (Tab. 4) besitzt die geringste Genauigkeit (Abb. 7). Trotzdem konnten 90% der veränderten oder zerstörten Gebäude gefunden werden, aber 50% der als verändert klassifizierten Gebäude sind in der Realität unverändert. 80% der neu errichteten Gebäude, werden als unverändert klassifiziert.

Tab. 4: Ergebnisse der Genauigkeitsanalyse für die Postklassifikation in %.

	Veränderte Gebäude	Neue Gebäude	Unveränderte Gebäude	Vegetation	Nutzer-genauigkeit
Veränderte Gebäude	372	23	347	46	47,21
Neue Gebäude	5	63	1	47	54,31
Unveränderte Gebäude	27	318	55	0	13,75
Vegetation	0	0	0	311	100,00
Herstellergenauigkeit	92,08	15,59	13,61	76,98	

Tab. 5: Ergebnisse der Genauigkeitsanalyse für Delta Cue in %.

	Veränderte Gebäude	Neue Gebäude	Unveränderte Gebäude	Vegetation	Nutzer-genauigkeit
Veränderte Gebäude	344	4	241	26	55,93
Neue Gebäude	11	377	11	57	82,68
Unveränderte Gebäude	49	23	144	0	66,67
Vegetation	0	0	0	321	100,00
Herstellergenauigkeit	85,15	93,32	35,64	79,46	

Tab. 6: Ergebnisse der Genauigkeitsanalyse für CEST in %.

	Veränderte Gebäude	Neue Gebäude	Unveränderte Gebäude	Vegetation	Nutzer-genauigkeit
Veränderte Gebäude	254	3	11	4	93,38
Neue Gebäude	13	327	0	42	85,60
Unveränderte Gebäude	137	74	393	0	65,07
Vegetation	0	0	0	358	100,00
Herstellergenauigkeit	62,87	80,94	97,28	88,61	

Das Ergebnis der Veränderungsanalyse mit Delta Cue ist das beste der gestesten Standardverfahren (Tab. 5). Dennoch werden mehr als 60% der unveränderten Gebäude falschen Klassen zugeordnet.

Das beste Ergebnis erzeugt die Veränderungsanalyse mit der CEST-Methode (Tab. 6). 97% der unveränderten Gebäude werden korrekt identifiziert. Zwar werden noch 35% der veränderten und zerstörten Gebäude als unverändert detektiert, dennoch ist dies ein sehr guter Wert. Falsch detektiert werden vor allem zerstörte Gebäude, auf deren Fläche nach der Zerstörung neue Gebäude errichtet wurden. Diese neuen Gebäude können zwar eine andere Form als die ursprünglichen Gebäude besit-

zen, allerdings werden an diesen Stellen trotzdem Kanten detektiert und Texturen gefunden, so dass der Algorithmus diese Gebäude als unzerstört klassifiziert. Im Vergleich zu den anderen Verfahren besitzt CEST allerdings die höchste mittlere Nutzer- und Herstellergenauigkeit und den höchsten Kappa-Koeffizienten (Abb. 8).

5 Automatisch erstellte Karten

Die Ergebnisse der Veränderungsanalyse sind oft schwer zu interpretieren. Dies trifft vor allem dann zu, wenn die Interpreten nur geringen Bezug zur Fernerkundung haben, was

z. B. oft für offizielle Organisationen oder Hilfskräfte zutrifft. Zur Planung von Hilfseinsätzen nach einer Krise oder Katastrophe sollte die Interpretation der Veränderungen aber so einfach wie möglich sein. Daher wurde ein Algorithmus entwickelt, der automatisch eine auch für Laien leicht zu interpretierende Karte erstellt. In einem ersten Schritt wird dazu das Veränderungsbild generalisiert. Innerhalb eines Fensters mit einer Größe von 20×20 Pixeln wird die Stärke der Veränderung aus der Information des Veränderungsbildes bestimmt. Die prozentuale Veränderung wird in diesem Fenster berechnet. Ist diese kleiner als 15%, werden alle Pixel als unverändert in dieser Region markiert. Veränderungen über 80% markieren starke Veränderungen. Die Werte zwischen 15% und 80% deuten auf leichte bis mittlere Veränderungen hin. Gebiete mit neuen Gebäuden, die mindestens 15% der Fläche bedecken, werden als „Neue Gebiete“ markiert. Das Originalbild nach der Katastrophe dient als Hintergrund für die Visualisierung (Abb. 9).

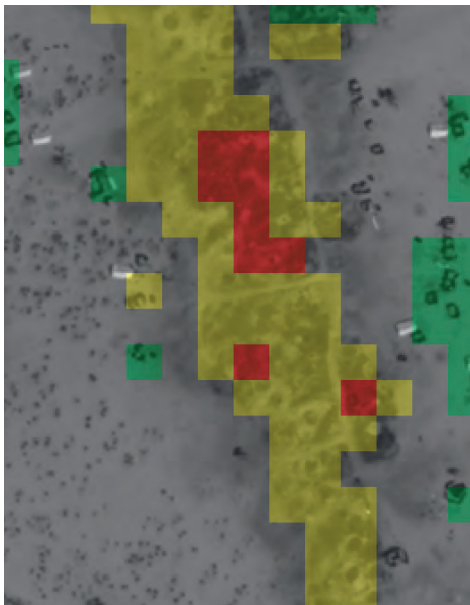


Abb. 9: Karte der Veränderungen in Abu Suruj: Veränderungen werden als transparente Farbmappe über das Satellitenbild gelegt. Neue Gebäude werden grün, leichte bis moderate Veränderungen gelb und starke Veränderungen rot dargestellt.

Unveränderte Regionen werden transparent dargestellt, leicht bis mittel veränderte gelb und Gebiete mit starken Veränderungen in rot. Gebiete mit neuen Gebäuden werden grün markiert. Wird diese Technik auf Gebiete mit katastrophalen Veränderungen angewandt, können leicht die Flächen identifiziert werden, die besonders betroffen sind und dringend Hilfe benötigen. Für die Region um Abu Suruj wird deutlich sichtbar, dass sich einerseits die Stadt vergrößert hat, aber andererseits auch sehr viele Gebäude zerstört wurden.

6 Zusammenfassung und zukünftige Arbeiten

In diesem Artikel wird ein neues Verfahren zur Veränderungsanalyse vorgestellt. Dieses Verfahren kombiniert Kantendetektion nach adaptiver Filterung im Frequenzraum, Hauptkomponentenanalyse der Texturmerkmale IDM und Energie und eine segmentbasierte Korrelation. Diese kombinierte Methode (CEST – Combined Edge Segmentation Texture) wird mit fünf unterschiedlichen Standardverfahren zur Identifizierung von Veränderungen in Fernerkundungsdaten (Bildsubtraktion und -division, PCA, Postklassifikation und Delta Cue) verglichen. Die Ergebnisse werden visuell und quantitativ ausgewertet. Die Auswertung zeigt, dass die CEST-Methode deutlich bessere Ergebnisse zeigt als die Standardverfahren. CEST erreicht einen Kappakoeffizienten von 0,77; mehr als 90% der unveränderten Gebäude werden korrekt identifiziert. Das Verfahren kann auch bei multispektralen Fernerkundungsdaten eingesetzt werden, wobei zunächst aus den einzelnen multispektralen Kanälen ein künstliches panchromatisches Bild durch Mittelwertbildung berechnet wird. Es wird zur Zeit untersucht, ob die Anwendung auf mehrere Farbkanäle parallel die Genauigkeit des Verfahrens verbessern kann. Dieser Ansatz wurde bereits auf einem anderem Testgebiet angewandt und zeigte überzeugende Ergebnisse (KLONUS et al. 2010).

Da die Herstellergenauigkeit auch der CEST Methode noch nicht befriedigend ist, sollen einerseits neue Segmentierungsverfahren zur eindeutigeren Objektidentifizierung getestet

werden und die spektrale Information (z. B. über den NDVI) in das Verfahren integriert werden. Zusätzlich soll die FLST (fast level set transform) in unseren Entscheidungsbaum integriert werden (MONASSE & GUICHARD 2000). Das CEST-Verfahren soll ebenfalls auf weitere Datensätze wie z. B. des Erdbebens in Haiti angewendet werden.

Acknowledgements

Wir bedanken uns bei DigitalGlobe für die Nutzungsrechte an den verwendeten Bilddaten.

Literatur

- BRIGHAM, E.O., 1997: FFT Anwendungen. – Oldenbourg Verlag, München.
- CANNY, J., 1986: A computational approach to edge detection. – *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* **8** (6): 679–698.
- COPPIN, P., JONCKHEERE, I., NACKAERTS, K., MUYS, B. & LAMBIN, E., 2004: Digital change detection methods in ecosystem monitoring a review. – *International Journal of Remote Sensing* **25** (9): 1565–1596.
- DAI, X. & KHORRAM, S., 1999: Remotely sensed change detection based on artificial neural networks. – *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* **65** (10): 1187–1194.
- EHLERS, M., 1984: Digitale Bildverarbeitung. – Hannover: Schriftenreihe des Institutes für Photogrammetrie und Ingenieurvermessungen, Universität Hannover **9**: 1–146.
- ERDAS INC., 2009: Imagine DeltaCue. – Norcross.
- FOODY, G.M., 2001: Monitoring the magnitude of land-cover change around the southern limits of the Sahara. – *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* **67** (7): 841–847.
- HARALICK, R.M., SHANMUGAM, K. & DINSTEN, I., 1973: Textural features for image Classification. – *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics* **3**: 610–621.
- HARALICK, R.M. & SHAPIRO, L.G., 1992: Computer and Robot Vision – Volume 1. – Addison-Wesley, Reading.
- IM, J., JENSEN, J.R. & TULLIS, J.A., 2008: Object-based change detection using correlation image analysis and image segmentation. – *International Journal of Remote Sensing* **29** (1–2): 399–423.
- JENSEN, J.R., 2005: Introductory digital image processing: A remote sensing perspective. – Prentice-Hall, New Jersey, Englewood Cliffs, USA.
- JIANYA, G., HAIGANG S., GUORUI, M. & QIMING, Z., 2008: A Review of multi-temporal remote sensing data change detection algorithms. – *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing, and Spatial Information Sciences* **27**: 757–762.
- KHORRAM, S., BIGING, G.S., CHRISMAN, N.R., COLBY, D.R., CONGALTON, R.G. & DOBSON, J.E., 1999: Accuracy assessment of remote sensing derived change detection. – *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, Bethesda, USA.
- KLONUS, S., TOMOWSKI, D., EHLERS, M., MICHEL, U. & REINARTZ, P., 2010: Veränderungsanalyse in Krisenregionen. – *Publikationen der DGPF* **19**: 109–118.
- LOHMANN, P., HOFFMANN, P. & MÜLLER, S., 2008: Updating GIS by object-based change detection. *gi-reports@igf – Geoinformatics paves the Highway to Digital Earth: On the occasion of the 60th birthday of Professor Manfred Ehlers* **8**: 81–86.
- LU, D., MAUSEL, P., BRONDIZIO, E. & MORAN, E., 2003: Change detection techniques. – *International Journal of Remote Sensing* **25** (12): 2365–2407.
- MACLEOD, R.D. & CONGALTON, R.G., 1998: A quantitative comparison of change-detection algorithms for monitoring eelgrass from remotely sensed data. – *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* **64** (3): 207–216.
- MAS, J.-F., 1999: Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques. – *International Journal of Remote Sensing* **20** (1): 139–152.
- MONASSE, P. & GUICHARD, F., 2000: Fast Computation of a Contrast Invariant Image Representation. – *IEEE Transactions on Image Processing* **9** (5): 860–872.
- NEMMOUR, H. & CHIBANI, Y., 2006: Fuzzy neural network architecture for change detection in remotely sensed imagery. – *International Journal of Remote Sensing* **27** (3–4): 705–717.
- NIEMEYER, I. & NUSSBAUM, S., 2006: Automatisierte Detektion, Klassifizierung und Visualisierung von Veränderungen auf der Grundlage von Fernerkundungsdaten. – *7. Geokinematische Tage, Glückauf, Essen*: 248–257.
- PRAKASH, A. & GUPTA, R.P., 1998: Land-use mapping and change detection in a coal mining area - a case study in the Jharia coalfield. – *International Journal of Remote Sensing* **19** (3): 391–410.

- Schowengerdt, R.A., 2007: Remote Sensing: Models and methods for image processing. – (3. ed.). Elsevier Academic Press, Amsterdam.
- SINGH, A., 1989: Digital change detection techniques using remote-sensed data. – *International Journal of Remote Sensing* **10** (10): 989–1003.
- TOMOWSKI, D., KLONUS, S., EHLERS, M., MICHEL, U. & REINARTZ, P., 2010: Visualisierung von Veränderungen in Katastrophengebieten mittels texturbasierter Auswerteverfahren. – *Geoinformatik 2010 „Die Welt im Netz“*: 164–171.
- TOMOWSKI, D., KLONUS, S., EHLERS, M., MICHEL, U. & REINARTZ, P., 2010: Change Visualization through a Texture-Based Analysis Approach for Disaster Applications. – *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing, and Spatial Information Sciences* **38** (7A): 263–268.
- Addressen der Autoren:
- SASCHA KLONUS, DANIEL TOMOWSKI, MANFRED EHLERS, Universität Osnabrück, Institut für Geoinformatik und Fernerkundung, Barbarastr. 22b, D-49076 Osnabrück, Tel.: +49-541-969-3921, -3934, -3910, Fax: -3939, e-mail: sklonus@igf.uni-osnabrueck.de, dtomowski@igf.uni-osnabrueck.de, mehlers@igf.uni-osnabrueck.de.
- ULRICH MICHEL, Pädagogische Hochschule Heidelberg, Abteilung Geographie, Czernyring 22/11-12, D-69115 Heidelberg, Tel.: +49-6221-477-772, Fax: -769, e-mail: michel@ph-heidelberg.de.
- PETER REINARTZ, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Methodik der Fernerkundung, Münchner Straße 20, 82234 Oberpfaffenhofen-Wessling, Tel.: +49-8153-28-2757, Fax: -1444, e-mail: peter.reinartz@dlr.de.

Manuskript eingereicht: Februar 2011

Angenommen: Mai 2011





Object-based Change Detection

CLEMENS LISTNER & IRMGARD NIEMEYER, Jülich

Keywords: Change Detection, Multivariate Alteration Detection, Multiresolution Segmentation, Object-based Image Analysis, Neural Networks

Summary: The iteratively reweighted multivariate alteration detection (IR-MAD) has shown to be a very useful tool for detecting changes in imagery acquired over the same area but at different times. However, applying the paradigm of object-based image analysis (OBIA) leads to the problem how to connect corresponding objects extracted from images recorded at two different times. Moreover, the huge number of object features available in OBIA results in numerical instabilities within the MAD method due to near-singular covariance matrices. The paper introduces recent developments for object-based change detection. First, a new approach to segmentation for object-based change detection will be presented: The algorithm segments the first image using the multiresolution segmentation. Assigned to the second image, all segmentation merges are checked for consistency and removed if the check fails. Second, the paper shows how to address the numerical problems in the MAD algorithm by regularisation as well as by dimensionality reduction using Principal Component Analysis (PCA). It will be demonstrated how to integrate the adapted segmentation and IR-MAD into the object-based change detection workflow.

Zusammenfassung: *Objekt-basierte Änderungs-detektion.* Die Methode der Iteratively Reweighted Multivariate Alteration Detection (IR-MAD) hat sich als sehr nützliches Instrument erwiesen, um Änderungen zwischen zwei Satellitenbildern unterschiedlicher Aufnahmezeiten eines Gebietes zu analysieren. Jedoch kann die Methode nicht direkt den Ansatz der objektbasierten Bildanalyse (OBIA) integrieren. Insbesondere ist es bisher nicht möglich Änderungen der Form zwischen den Bildern zu detektieren, da die Algorithmen zur Objektextraktion, der so genannten Segmentierung, nicht robust genug sind. Darüber hinaus führt die durch das OBIA-Konzept verfügbare große Anzahl untereinander korrelierter Objekteigenschaften dazu, dass die Methode der IR-MAD numerisch instabil wird. Diese Arbeit präsentiert zwei Neuentwicklungen im Bereich der objekt-basierten Änderungs-detektion. Einerseits wird ein Algorithmus zur Bildsegmentierung vorgestellt, der es ermöglicht, die IR-MAD-Methode direkt auf Basis der Objekte durchzuführen. Andererseits zeigt diese Arbeit auf, wie die numerischen Probleme der IR-MAD-Methode durch Regularisierung und Dimensionsreduktion mittels Hauptkomponentenanalyse gelöst werden können.

1 Introduction

Change detection has always been an important application for remote sensing data. It may be defined as the analysis of two or more images of the same area but acquired at different times in order to identify significant changes of or at the earth's surface. Change detection techniques are being used in a variety of fields, such as disaster management, forestry monitoring, water level monitoring, infrastructure planning, and many more.

According to the broad range of change detection applications using remote sensing data, also a huge number of data processing methods were proposed (SINGH 1989, LU et al. 2004, RADKE et al. 2005, CANTY 2009): Methods analysing difference images, classification-based approaches and kernel-based methods such as principal component analysis or multivariate alteration detection, to name just a few examples. All these approaches have in common that they compare corresponding image pixels of different acquisition times.

However, due to the increased spatial resolution of remote imaging sensors, the aggregation of similar neighbouring pixels into homogeneous objects has become more and more popular. After the aggregation, also referred to as segmentation, the user might consider also shape, relations and texture of the image objects in the analysis. This paradigm is called object-based image analysis (OBIA) (BLASCHKE et al. 2008). Change detection can also be carried out based on the image objects. A number of studies showed the application of object-based approaches for detecting surface changes between different acquisition times.

1.1 Segmentation Adapted for Object-based Change Detection

Earlier studies (NIEMEYER et al. 2008, 2009) turned out that segmentation is the crucial step in object-based change detection. For image data taken over the same area at two different acquisition times, the image segmentation could be generally performed in three different ways:

- a) On the basis of the bi-temporal data set, i. e., using a data stack consisting of both scenes;
- b) based on the image data of one acquisition time; the generated object boundaries are then simply assigned to the image data of the second acquisition;
- c) separately for the two times, i. e., the two data sets are segmented independently.

When using a segmentation as suggested in (a) or (b), the resulting image objects have the same geometric properties at the two times, i. e., time-invariant shape features. Change detection can only be applied to a limited number of time-variant object features, such as layer values, texture etc. Provided independent segmentation of the two scenes (c), also the image object geometry varies in time. In this case, all available object features could be used for object-based change detection. However, the issue of linking objects has not been solved satisfactorily yet. In summary, each of the three approaches has severe drawbacks concerning the use of shape features, segmentation robustness and quality, or the problem of linking

corresponding objects of different acquisition times, see NIEMEYER et al. (2008) for a more detailed discussion.

Therefore, we will present a new segmentation approach for object-based change detection. The method is based on the idea of multiresolution segmentation (BAATZ & SCHÄPE 2000), which is a core component of the eCognition software (DEFINIENS 2009). Given a bi-temporal dataset acquired over the same area, the adapted procedure aims to provide almost identical segments for image regions where no temporal changes occurred and different segments for temporally changed image regions.

1.2 Object-based Techniques for Change Detection

Some authors presented object-based classifications for change detection studies, among them for instance ZHOU et al. (2008), who investigated the post-classification comparison based on traditional pixel-based versus object-based classifiers. The change map produced by the object-based method achieved a higher Kappa index of agreement (KIA) than the pixel-based method. HESE et al. (2006) reported that object-based change detection approaches taking the object shape into account could increase the classification accuracy of change classes. CONCHEDDA et al. (2008) applied object-based post-classification comparison versus object-based change detection analysis of mangrove ecosystems and received a higher overall accuracy for the object-based post-classification comparison. IM et al. (2008) compared three different object-based change classification techniques using object/neighbourhood correlation with two different pixel-based approaches, and figured out that object based change classifications achieve higher KIA values than the pixel-based methods. NIEMEYER & NUSSBAUM (2006) used a combination of pixel- and object-based approaches by firstly pinpointing the significant change pixels by statistical change detection, object extraction and subsequent post-classification of changes based on a semantic model of object features.

Other authors proposed change detection combining object-based classification and

geo-information systems (GIS). WALTER (2004) presented a two steps approach starting with object-based classification of remote sensing data using training areas derived automatically from a GIS database. For change detection, the classified data was then compared with the existing GIS objects. HOFMANN et al. (2008) implemented different change indicators based on a comparison of the input bi-temporal satellite data and used them in combination with a transition-probability-matrix to detect and reclassify potential changes of GIS-objects. CHANGHUI et al. (2010) performed an object-based classification using support vector machines (SVM) and compared the objects with land use vector data.

Some other authors developed object-based change detection techniques employing the differences of spectral and textural object features existing at the considered acquisition times. DESCLÉE et al. (2006) proposed a new change detection procedure, in which anomalous values of reflectance differences statistics were identified based on a chi-square test of hypothesis, and the corresponding objects were labelled as change. LEFEBVRE et al. (2008) presented a geometric change detection procedure based on the analysis of object contours and content change by wavelet-based texture analysis. HUO et al. (2010) combined the differences of spectral and textural object features for urban change analysis using very high-resolution optical imagery. HUANG et al. (2010) compared pixel-based versus object-based change detection by integrating intensity and texture differences and found object-based change detection to be more appropriate.

Besides object class membership, spectral and textural differences, also the temporal modification of other object features could be utilised for statistical change detection. Additional layer features, like ratio, standard deviation and others, as well as relational and shape features could help to address thematic, geometric and topologic object changes between two acquisition times. NIEMEYER et al. (2008, 2009) applied the regularized iteratively reweighted multivariate alteration detection (IR-MAD – NIELSEN 2007) for analysing changes of image objects based on their features. The MAD transformation (NIELSEN et

al. 1998) was originally developed for pixel-based change detection. It is based on a classical statistical transformation of the multispectral feature space referred to as canonical correlation analysis to enhance the change information in the difference images. When applying the IR-MAD transformation to a feature space with only small correlations between the dimensions, normally no numerical issues occur. However, in datasets with high correlation between the dimensions, as it can be found in hyperspectral data or object-based processing using many features, the algorithm results in near-singular covariance matrices which cannot be inverted in a straightforward way. In this context, NIELSEN (2007) proposed to reduce the dataset dimensionality and hence to decrease the correlation between the dimensions. We therefore implemented a principal component analysis (PCA) transformation into the object-based change detection process for reducing the feature space dimensions before applying the IR-MAD method.

Section 2.1 describes the multiresolution segmentation method in detail and introduces its enhancement as to object-based change detection. Section 2.2 presents the idea of the IR-MAD and shows which modifications are necessary to obtain a stable behaviour of the algorithm. Section 2.3 briefly reviews the use of class-based feed-forward networks and Section 2.4 shows the change detection workflow. Investigations on the suggested segmentation procedure are presented in Section 3.1, followed by the discussion of three change detection experiments using different approaches in Section 3.2. Section 4 gives some general conclusions.

2 Methods

2.1 *Multiresolution Segmentation Adapted for Object-based Change Detection*

The general idea of our work is to create segmentations of the two images I_1 and I_2 , acquired at different times over the same area, that only differ in image regions where actual changes took place. For this purpose we adapted a region-growing segmentation algorithm

called multiresolution segmentation (BAATZ & SCHÄPE 2000), which is available in the eCognition software for object-based image analysis (DEFINIENS 2009). The multiresolution segmentation starts with pixels as initial segments and iteratively aggregates neighbouring segments to bigger segments according to predefined heterogeneity criteria.

However, object-based change detection requires a segmentation technique that similarly extracts objects that have not changed their shape and size between the two acquisition times. The multiresolution segmentation implemented in the eCognition software uses homogeneity criteria based on color and shape, and a scale parameter in combination with local and global optimization techniques. Thus, applying the same segmentation parameters to both scenes does hardly produce similar objects in image regions with no or negligible changes, if other parts of the image have slightly changed.

In our procedure, the multiresolution segmentation is used to generate a segmentation of I_1 . After that, the segmentation is also applied to I_2 and tested for its consistency. If a segment is found to be inconsistent with I_2 , it will be split up. But let us start with describing the multiresolution segmentation in more detail, before introducing the adaption for change detection.

Multiresolution segmentation is a region-based approach. In this approach, segments can be considered as binary trees in which the leaf nodes correspond to single pixels and every merge step can be represented by a non-leaf node. According to this model, we will use the terms segment and node synonymously throughout this paper.

The multiresolution segmentation starts with an initial chessboard segmentation that identifies each pixel as an individual segment. Then, segments grow in multiple cycles. In each cycle a random seed S_i of minimal tree depth is selected iteratively in order to check if one of its neighbours S_j can be merged with S_i to a new segment S_{new} . The degree of fitting is modelled by the measure of heterogeneity h that has to fulfil

$$h(S_{new}) < T, \quad (1)$$

T being a given threshold. The aim is to minimize h in the neighbourhood of S_i when being merged with S_j . Furthermore, S_i has also to minimize h in the neighbourhood of S_j . Otherwise, S_j is set to be the next seed. This strategy, called *local mutual best fitting* (see Fig. 1), results in a path of descending values for h leading to a local minimum. Hence, it is impossible to run into an infinite loop. Moreover, this strategy causes a regular growth of the segments. For specific formulas on the heterogeneity measure, see (LISTNER & NIEMEYER 2010).

If no local mutual best fitting neighbour has been found given seed S_i , it is marked as final. Final segments can no longer be merged with other segments until the end of a segmentation cycle or a merge of neighbouring segments. If all segments have been marked as final, the algorithm continues with the next cycle by resetting all segments from final. The algorithm ends if none of the present segments has been merged with another segment during a cycle.

In case a single image is being segmented, the information about the child segments has no further relevance after merging them.

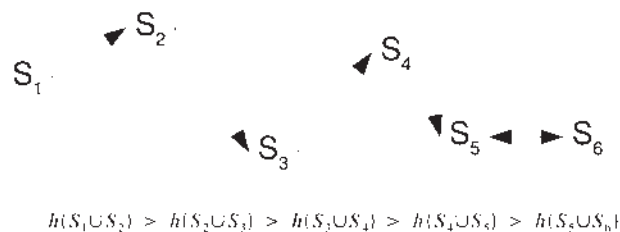


Fig. 1: Local mutual best fitting strategy.

However, as we intend to test the segmentation of one acquisition time for consistency with an image of another acquisition time, the information on the segment history, i. e., the segment hierarchy, needs to be saved within the process. Depending on the applied consistency tests, also information on the neighbourhood existing at the time a segment was created could be necessary (LISTNER & NIEMEYER 2010).

Following the insight into the multiresolution segmentation algorithm, we now focus on adapting this algorithm to the problem of segmenting two images of the same area acquired at different times. We therefore propose the following approach:

1. Segment image I_1 using the multiresolution segmentation algorithm.
2. Apply this segmentation to image I_2 and recalculate the heterogeneity of each segment based on the data of I_2 .
3. Check every merge, i. e., every segment that consists of more than one pixel, for consistency by applying a test criterion. Not only the top-level segments, i. e., the nodes without parents, need to be examined but all nodes in each segment tree except for the leaf nodes.
4. Remove all inconsistent nodes using a segment removal strategy.
5. Re-run the multiresolution segmentation to obtain a final segmentation of the second image.

These steps present a general process which has to be specified in two aspects. First, how can segments of image I_1 be checked for consistency with image I_2 , and second, how can inconsistent segments be removed?

With regard to the consistency tests we propose three different criteria. The first one, named *threshold test*, examines whether a given segment S fulfils the condition

$$h(S) < T_{check}. \quad (2)$$

Otherwise the segment S is marked as inconsistent. The threshold test is the weakest test with respect to changes between the two images.

The second test, called *local best fitting test*, tries to repeat the merge procedure with the data of image I_2 . Given an exemplary segment

structure with parent segment S_3 and its children S_1 and S_2 , the test assumes S_1 to be a seed and searches for locally best fitting neighbours from the list of merge candidates that has been stored during the segmentation of image I_1 . If the best fitting neighbour is S_2 , the test is passed, otherwise it is failed. Besides, also the condition given in Equation 2 needs to be fulfilled. Obviously, this test is very sensitive even to small changes or noise in the imagery. In order to reduce the sensitivity of the test, a parameter $T_{checktolerance}$ is introduced. The idea of this additional parameter is that a merge may not be the locally best fitting one but could belong e. g., to the 10% best fitting ones. Therefore the test checks how many merge candidates perform better (n_{better}), equally well (n_{equal}) and worse (n_{worse}) than the segment that has been merged to the seed. If the condition

$$\frac{n_{better}}{n_{better} + n_{equal} + n_{worse}} < T_{checktolerance} \quad (3)$$

holds, the consistency test is considered to be passed.

Finally, the third test is named *local mutual best fitting test*. It also tests if S_2 is the best fitting neighbour for seed S_1 in the list of merge candidates but checks additionally if S_1 is the best fitting neighbour for S_2 . This test's principle is derived from the idea of local mutual best fitting presented before. Compared to the local best fitting test, this test is more sensitive; however, applying Equation 3 could also reduce the sensitivity of this test. In general, splitting-up segments could be avoided by increasing threshold T_{check} . Then, not all changes between I_1 and I_2 may result in changes of the segmentation.

After testing all given segments for consistency with the image I_2 , those segments that did not pass the test have to be handled. We therefore introduce three strategies to remove these segments.

The first strategy is named *universal segment removal strategy*. The principal idea of this strategy is illustrated in Fig. 2: It searches for the top-level segment of an inconsistent segment and splits it into its elements. As a result, only pixel segments will remain. Obviously, this strategy affects the segmentation intensively and could therefore create changes

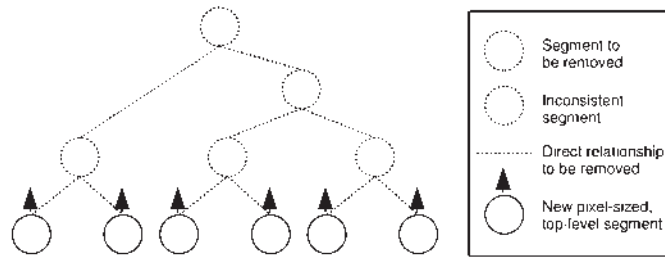


Fig. 2: Universal segment removal strategy.

in the final segmentation in areas where no actual changes can be observed.

The second strategy for removing inconsistent segments is the *global segment removal strategy*. Its basic principle, as illustrated in Fig. 3, is to remove the inconsistent segment and all its ancestors from the segment tree. During this process all remaining segments are considered to be new top-level segments. In this way, the impact on the segment tree is reduced. However, this strategy is very adaptive in creating changes only in parts of the segment tree in which changes can be detected and leaves the rest as it is.

The third and most complex segment removal algorithm is called *local segment removal strategy*. It is developed due to the fact that the global segment removal strategy affects parts of the segment tree which do not necessarily change between different acquisition times. Consider for example a big object in image *I* which is segmented correctly. If only a small part of this object changes from one acquisition time to another, it may be a better to extract this small part instead of splitting up the whole object.

Therefore we propose an additional method for removing inconsistent segments: Assume *I*

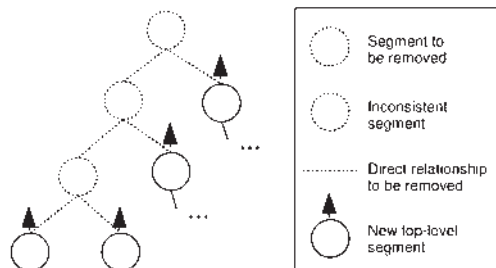


Fig. 3: Global segment removal strategy.

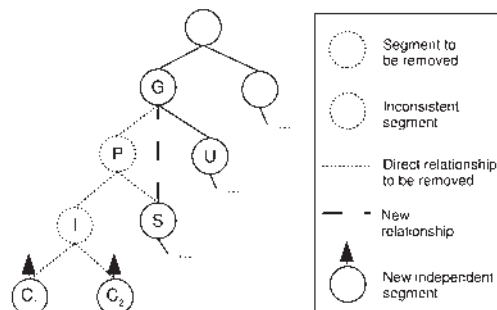


Fig. 4: Local segment removal strategy.

to be an inconsistent node. Then remove I and its parent P from the segment tree. Set I 's children C_1 and C_2 as top-level segments and put I 's sibling S as child of I 's grandparent G . This method is illustrated in Fig. 4. It has turned out that the local segment removal strategy cannot be applied directly in all possible constellations. See LISTNER & NIEMEYER (2010) for a detailed discussion of this issue.

In this section we have shown some ideas for addressing the problem of segmentation for object-based change detection. These ideas were implemented using the C++ programming language including STL (see MUSSER 1995) and GDAL (see GDAL 2010).

2.2 IR-MAD Adapted for Object-Based Change Detection

The IR-MAD method is a linear transformation of the feature space aimed at enhancing the change information in the difference image. It models an object's feature vector as random vectors F and G of length N with F representing the information from the first and G from the second image. It then uses the corresponding covariance matrices Σ_{FF} , Σ_{FG} and Σ_{GG} to calculate the transformation vectors a and b as the solution of the generalized coupled eigenvalue problem

$$\begin{aligned} \Sigma_{FG} \Sigma_{GG}^{-1} \Sigma_{FG}^T a &= \rho^2 \Sigma_{FF} a, \\ \Sigma_{FG} \Sigma_{FF}^{-1} \Sigma_{FG}^T b &= \rho^2 \Sigma_{GG} b. \end{aligned} \quad (4)$$

Solving this problem yields N solutions with eigenvectors a_i and b_i and corresponding eigenvalues ρ_i sorted in ascending order. Using this result, the transformed difference images M_i is calculated as

$$M_i = U_i - V_i = a_i^T F - b_i^T G. \quad (5)$$

It can be shown that M_i has maximum variance and thus U_i and V_i minimum correlation under the constraint that $\text{Var}(U) = \text{Var}(V) = 1$. The transformed imagery emphasizes the differences between the two acquisition times. Moreover, the M_i 's, referred to as MAD components, are mutually uncorrelated which has the effect that different components show dif-

ferent types of changes. The sum of squares of standardized variates is approximately chi-square distributed with N degrees of freedom. Supposing that no-change pixels have a chi-square distribution with N degrees of freedom, N being the number of MAD components, the change-probability can be derived for each pixel or object. For a more comprehensive explanation of the IR-MAD method see (NIELSEN 2007, CANTY 2009).

As the covariance matrices have to be estimated from the imagery, they may not always be invertible (NIELSEN 2007). However, Equation 4 requires the inversion of Σ_{FF} and Σ_{GG} . Therefore, we propose to reduce the dimensionality of the data using the principal component analysis (PCA). Principal component analysis is a linear transformation like the IR-MAD method. The difference to IR-MAD is that PCA operates on a single dataset which is modelled by a random vector F . Based on this vector's covariance matrix ΣF , the eigenvalue problem

$$\Sigma_F a = \rho a. \quad (6)$$

is solved. This yields N pairs of eigenvalues ρ_i and corresponding eigenvectors a_i sorted in descending order, that are then used to carry out the transformation

$$U_i = a_i^T F. \quad (7)$$

It can be shown that the variance is maximized for U_i under the constraint that $|a_i| = 1$ and that U_i is not correlated to any component U_j with $j < i$. The variance of the single components is given by

$$\text{Var}(U_i) = \rho_i. \quad (8)$$

For more information on PCA see (CANTY 2009). Hence, only those components containing a significant high variance are used for further analysis, the remaining features are ignored.

In practice, we estimate the covariance matrix Σ_F by using both images. Then the imagery is transformed and the features U_1, \dots, U_M are selected if they describe at least 95% of the total variance, i. e.,

$$\sum_{i=1}^M \text{Var}(U_i) / \sum_{i=1}^N \text{Var}(U_i) \geq 0.95. \quad (9)$$

Both IR-MAD and PCA transformation were programmed using the Newmat C++ matrix library and Numerical Recipes Software and implemented as eCognition Developer plug-in using the eCognition Software Development Kit (SDK).

2.3 Classification of Object Changes Using Neural Networks

In earlier studies (MARPU 2009, NIEMEYER et al. 2009), two different two-layered feed forward network topologies were tested for object-based classification: Standard feed forward network (FFN) and the so-called class-based feed forward network (CBFFN). The new architecture of CBFFN was developed using the feed forward neural networks to especially facilitate the handling of the huge feature space within the object-based image analysis and to automatically extract the relevant object features. This architecture is named class-based as the output of the individual class-related FFNs defined in the architecture only use the characteristic features of the particular classes and make a final decision in the end. The proposed architecture consists of two layers of neural networks. In the first layer there are exactly K networks NN_k representing K classes. The network representing class k is only fed with the characteristic features of that class. The output of each network represents a fuzzy value of each class which are then fed as input to the second layer network. The second layer network finally gives a class membership probability for every class. Three learning algorithms and two combinations for a two-layered feed forward network (FFN) were used: Backpropagation, Kalman filter training, scaled gradient conjugated (SCG), Kalman filter and backpropagation, Kalman filter and SCG. The two network topologies with the five learning algorithms were programmed and implemented as eCognition Developer plug-in using the eCognition Software Development Kit (SDK) and IT++ library. For more detailed information, please see (MARPU 2009, NIEMEYER et al. 2009).

2.4 Object-Based Change Detection Workflow

Using the segmentation as described in Section 2.1, it is possible to retrieve a segmentation of the imagery with at least three advantages: Firstly, we are now able to integrate shape features into the change analysis. Secondly, the presented segmentation algorithm is robust as it only leads to a different segmentation of image I_2 in areas where using the segmentation of I_1 would not be consistent with the data of I_2 . Thirdly, the segmentation results have a high quality because it is not necessary to produce a single segmentation taking both images I_1 and I_2 into account. However, we still receive separate object layers for either acquisition time, which have to be connected in order to obtain a correspondence between the image objects. Corresponding objects are required for applying the IR-MAD transformation, since the IR-MAD algorithm models the objects from I_1 and I_2 as realisation of random feature vectors F and G respectively. Hence, we need to estimate the parameters using corresponding realisations of F and G . For that reason we will propose two procedures on how to establish a one-to-one relationship between the segmentations of image I_1 and I_2 .

The first procedure, named *directed object correspondence*, associates each segment S_i in I_1 with all segments T_1, \dots, T_n in I_2 that are overlapping S_i . Since this would not establish a one-to-one relationship, we set the realisations of X and Y to

$$\begin{aligned} x_i &= f_x(S_i), \\ y_i &= \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n f_y(T_k), \end{aligned} \quad (10)$$

where f_x and f_y are functions returning the feature vectors of a given segment in the image I_1 and I_2 respectively. Thus, a pair of values (x_i, y_i) is available for every segment S_i in image I_1 . This result can now be used to estimate the probability distribution's parameters. An example for a specific object constellation illustrating the method is given in Fig. 5a.

The second procedure for establishing an object-to-object relationship between the segmentations of image I_1 and I_2 is called *corre-*

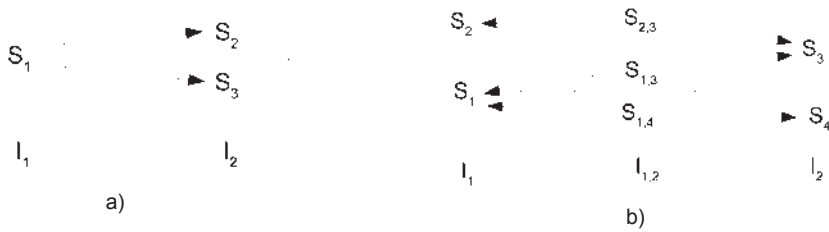


Fig. 5: Object correspondence: a) Directed, b) via intersection.

spondence via intersection. The main idea of this method is to construct a third segmentation by intersecting segments from the segmentations of I_1 and I_2 . Given the segments S_i from the segmentation of I_1 and S_j from the segmentation of I_2 , a segment $S_{i,j}$ is constructed by

$$S_{i,j} = S_i \cap S_j. \quad (11)$$

This automatically involves a unique correspondence of $S_{i,j}$ in the images I_1 and I_2 . Hence, the realisations of X and Y can be calculated straightforwardly for each segment $S_{i,j}$ by

$$\begin{aligned} x_i &= f_x(S_i), \\ y_i &= f_y(S_j). \end{aligned} \quad (12)$$

An example for the application of the method for *object correspondence via intersection* is given in Fig. 5b.

3 Experiments

Some experiments were carried out using bi-temporal RGB aerial imagery, acquired over a German motorway with a time difference of 0.7s. This particular dataset was selected to focus on the specific changes (here: vehicles movement) and to limit false alarms due to illumination and/or seasonal changes at the two acquisition times. However, some false alarms may result from sensor noise, different acquisition angles and registration inaccuracy. The two images were radiometrically normalised using the automatic techniques proposed by CANTY & NIELSEN (2008) and Median filtered.

3.1 Segmentation

The segmentation was carried out using the adapted multiresolution segmentation presented in Section 2.1. The *threshold test* and the *universal segment removal strategy* turned out to provide the best results for our study.

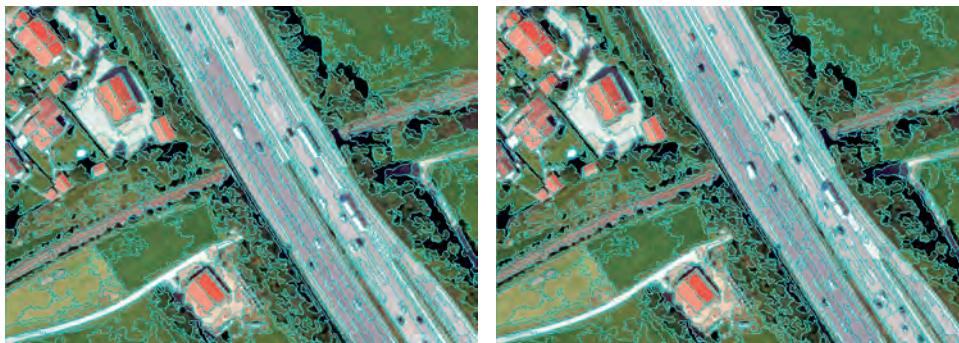


Fig. 6: Segmentation of the bi-temporal imagery using the threshold test and the universal segment removal strategy.

Fig. 6 shows the results for the two acquisition times. The procedure similarly extracted objects that have not changed their shape and size on both sides of the motorway and provided different results for the motorway.

3.2 Change Detection

The change detection procedure was tested using the eCognition Developer software with three different configurations. In the first experiment, hereinafter referred to as *directed change detection*, the changes were estimated in either directions, i. e., from time 1 to time 2 and from time 2 to time 1. The second experiment applied the object correspondence via intersection and will be named *change detection using intersected objects* in the following. The third experiment, entitled *change detection using MAD objects*, conducted the IR-MAD on the image pixels and continued with an object-based classification using neural networks.

For the *directed change detection*, the two results from the adapted multiresolution segmentation (Fig. 6) were used. Corresponding image objects in either time were connected applying the directed object correspondence. Ten object features were selected: Compactness as shape feature, object mean color, object standard deviation and the object mean of the grey level co-occurrence matrix (GLCM, texture feature) of the three given bands. After the PCA transformation, the first three PCs were taken as input for the IR-MAD. Finally, the object classes “no change” and “change”

were classified using the class-based neural network (CBFFN) procedure applying the SCG and Kalman filter as combined learning algorithm. Fig. 7 shows the results for the changes from time 1 to time 2 (left) and vice versa (right).

The approach *change detection using intersected objects* again used the two results from the adapted multiresolution segmentation as input, but applied a different method for connecting objects, namely the object correspondence via intersection. In addition to the object features employed in the previous experiment, also the shape index was used as input for the PCA. As before, the first three PCs were used as basis for the IR-MAD. The MADs and the chi square values were then taken as input for classifying the classes “no change”, “time 1” and “time 2” using CBFFN (Fig. 8).

Finally, the third experiment named *change detection using MAD objects* took yet another approach. Starting with a pixel-based IR-MAD, the three MADs were taken as input for segmenting the image objects. 15 features were selected: Mean, standard deviation and mean difference to neighbours as spectral features and GLCM homogeneity and GLCM mean as texture features, in each case for all three spectral bands. The procedure followed similar to the first two experiments: PCA, IR-MAD and CBFFN classification. Fig. 9 gives the results.

Accuracy Assessment

The accuracy assessment of the three experiments gives high overall accuracy (0.98–0.99)



Fig. 7: Directed change detection. Changes from time 1 to time 2 (left) and from time 2 to time 1 (right).



Fig. 8: Change detection using intersected objects.



Fig. 9: Change detection using MAD objects.

Tab. 1: Change detection accuracy assessment.

	Directed change detection: T1->T2		Directed change detection: T2->T1		Change detection using intersected objects		Change detection using MAD objects	
User's accuracy	No change	z0.98 1.00	No change	0.96 T1: road, T2:car 0.97	No change	0.99 T1: car, T2: road 0.78 T1: road, T2:car 0.52	No change	0.99 T1: car, T2: road 0.66 T1: road, T2:car 0.69
Producer's accuracy	No change	1.00 T1: car, T2: road 0.71	No change	0.99 T1: road, T2:car 0.81	No change	0.99 T1: car, T2: road 0.76 T1: road, T2:car 0.94	No change	0.99 T1: car, T2: road 0.52 T1: road, T2:car 0.72
Overall accuracy	0.98		0.98		0.98		0.99	
KIA	0.82		0.87		0.77		0.75	

and promising kappa coefficients (0.75–0.82) for either approach (Tab. 1). However, the user's and producer's accuracy vary for the three approaches and for the change classes.

4 Conclusion

We presented some new ideas for object-based change detection using remote sensing imagery. An enhanced procedure for segmentation was introduced and implemented into the change detection workflow. Moreover, numerical issues in the IR-MAD method were addressed. The proposed methods showed good results in three experiments using aerial imagery.

Nevertheless, further developments are needed such as new consistency tests and segment removal strategies. Moreover, methods for enabling the user to easily select the segmentation parameters, e. g., by using training samples, would be helpful. Finally, the adapt-

ed multiresolution segmentation needs to be implemented as eCognition plugin for allowing its direct use in the proposed change detection workflow.

The presented OBIA tools are available for download at www.treatymonitoring.de/tools/.

Acknowledgments

The authors would like to thank Prof. PETER REINARTZ (DLR) for providing the RGB aerial imagery used for the experiments.

References

BAATZ, M. & SCHÄPE, A., 2000: Multiresolution Segmentation: an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. – *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XI. Beiträge zum AGIT-Symposium 1999*: 12–23.

BLASCHKE, T., LANG, S. & HAY, G. (Eds.), 2008: *Object-Based Image Analysis Spatial Concepts*

- for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography. – Springer, Berlin.
- CANTY, M.J., 2009: Image Analysis, Classification, And Change Detection in Remote Sensing: With Algorithms for ENVI/IDL. – 2nd edition, Taylor & Francis Ltd.
- CANTY, M.J. & NIELSEN, A.A., 2008: Automatic radiometric normalization of multitemporal satellite imagery with the iteratively re-weighted MAD transformation. – *Remote Sensing of Environment* **112**: 1025–1036.
- CHANGHUI, Y., SHAOHONG, S., JUN, H. & YAOHUA, Y., 2010: An Object-Based Change Detection Approach using High-Resolution Remote Sensing Image and GIS Data. – International Conference on Image Analysis and Signal Processing (IASPI0): 565–569.
- CONCHEDDAA, G., DURIEUX, L. & MAYAUX, P., 2008: An object-based method for mapping and change analysis in mangrove ecosystems. – *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* **63**: 578–589.
- DEFINIENS IMAGING, 2009: Definiens eCognition Developer 8 User Guide. Munich.
- DESLÉE, B., BOGAERT, P. & DEFOURNY, P., 2006: Forest change detection by statistical object-based method. – *Remote Sensing of Environment* **102**: 1–11.
- GDAL DEVELOPMENT TEAM, 2010: GDAL – Geospatial Data Abstraction Library, Version 1.6.0. – Open Source. Geospatial Foundation.
- HESE, S. & SCHMULLIUS, C., 2006: Object Context Classification for Advanced Forest Change Classification Strategies. – *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* **36** (4/C42).
- HOFMANN, P., LOHMANN, P. & MÜLLER, S., 2008: Concepts of an object-based change detection process chain for GIS update. – *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* **37**: 305–312.
- HUANG, L., ZHANG, G. & LI, Y., 2010: An Object-based Change Detection Approach by Integrating Intensity and Texture Differences. – 2nd International Asia Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics (CAR 10): 258–261.
- HUO, C., CHEN, K., ZHOU, Z., LU, H. & CHENGA, J., 2008: Robust change detection by integrating object-specific features. – *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* **37** (B7): 797–802.
- IM, R., JENSEN, J.R. & TULLIS, J.A., 2008: Object-based change detection using correlation image analysis and image segmentation. – *International Journal of Remote Sensing* **29** (2): 399–423.
- LEFEBVRE, A., CORPETTI, T. & HUBERT-MOY, L., 2008: Object-oriented approach and texture analysis for change detection in very high resolution images. – *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS 08)*, (CD-Rom).
- LISTNER, C. & NIEMEYER, I., 2010: Multiresolution segmentation adapted for object-based change detection. – *SPIE Europe Remote Sensing 10*, Vol. 7477A, Image and Signal Processing for Remote Sensing.
- LU, D., MAUSEL, P., BRONDIZIO, E. & MORAN, E., 2004: Change detection techniques. – *International Journal of Remote Sensing* **25** (12): 2365–2407.
- MARPU, P.R., 2009: Geographic Object-based Image Analysis. – PhD Thesis, Institute of Mine-Surveying and Geodesy, TU Bergakademie Freiberg.
- MILLER, O., PIKAZ, A. & AVERBUCH, A., 2005: Objects based change detection in a pair of grey level images. – *Pattern Recognition* **38**: 1976–1992.
- MUSSER, D.R. & SAINI, A., 1995: The STL Tutorial and Reference Guide: C++ Programming with the Standard Template Library. – Addison Wesley Longman Publishing Co., Inc. Redwood City, CA, USA.
- NIELSEN, A.A., 2007: The regularized iteratively re-weighted MAD method for change detection in multi-and hyperspectral data. – *IEEE Transactions on Image Processing* **16** (2): 463–478.
- NIELSEN, A.A., CONRADSEN, K. & SIMPSON, J.J., 1998: Multivariate alteration detection (MAD) and MAF processing in multispectral, bitemporal image data: New approaches to change detection studies. – *Remote Sensing of Environment* **64**: 1–19.
- NIEMEYER, I. & NUSSBAUM, S., 2006: Change detection – the potential for nuclear safeguards. – *Verifying Treaty Compliance. Limiting Weapons of Mass Destruction and Monitoring Kyoto Protocol Provisions*: 335–348, Springer, Berlin.
- NIEMEYER, I., MARPU, P.R. & NUSSBAUM, S., 2008: Change detection using object features. – *Object-Based Image Analysis Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications*: 185–201, Springer, Berlin.
- NIEMEYER, I., BACHMANN, F., JOHN, A., LISTNER, C. & MARPU, P.R., 2009: Object-based change detection and classification. – *SPIE Europe Remote Sensing 09*, Vol. 7477A, Image and Signal Processing for Remote Sensing, Berlin.
- RADKE, R., ANDRA, S. & AL-KOFAHI, O., 2005: Image change detection algorithms: a systematic survey. – *IEEE Transactions on Image Processing* **14** (3): 294–307.

- SINGH, A., 1989: Review Article Digital change detection techniques using remotely-sensed data. – *International Journal of Remote Sensing* **10** (6): 989–1003.
- WALTER, V., 2004: Object-based classification of remote sensing data for change detection. – *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* **58**: 225–238.
- ZHOU, W., TROY, A. & GROVE, M., 2008: Object-based Land Cover Classification and Change Analysis in the Baltimore Metropolitan Area Using Multitemporal High Resolution Remote Sensing Data. – *Sensors* **2008** (8): 1613–1636.

Address of the Authors:

M.Sc. CLEMENS LISTNER, Dr. IRMGARD NIEMEYER, Forschungszentrum Jülich GmbH, Institut für Energie- und Klimaforschung, IEK-6: Nukleare Entsorgung und Reaktorsicherheit, D-52425 Jülich, Tel.: +49-2461-61-8953, -1762, Fax: -2450, e-mail: c.listner@fz-juelich.de, i.niemeyer@fz-juelich.de.

Manuskript eingereicht: März 2011

Angenommen: Mai 2011





Change Detection Analysis for Assessing the Vulnerability and Protective Effect of Beach Forests in Case of the Tsunami 2004 in Thailand

SEBASTIAN GÜNTHERT, MARC WIELAND & ALEXANDER SIEGMUND, Heidelberg

Keywords: Tsunami 2004, LULC classification, Post classification comparison, Statistical modelling

Summary: The influence of environmental factors, especially of tropical coastal forests, on the damage impact of a tsunami is still discussed controversially in literature. This paper focuses on the assessment of the vulnerability and protective effect of beach forests in case of the Indian Ocean Tsunami event 2004 in Thailand, based on remote sensing and multivariate-statistical methods. With the use of a post classification comparison, we show that the variability of the damage degree on different coastal vegetation types is highly spatial and species dependent. The combinatory evaluation of results from the change detection analysis and data on coastal vegetation structure from a field survey by using multiple regression analysis further proves that beach forests can have a protective effect against tsunami waves, if they satisfy certain vegetation structural conditions. In this context specific vegetation parameters for the vulnerability as well as the protective effect of beach forests are acquired, which mainly determine its vertical and horizontal forest density. A concluding case study finally illustrates how a combination of empirical tsunami hazard assessment and the presented work could be utilized to support local coastal protection in a targeted and efficient way.

Zusammenfassung: *Change Detection-Analyse zur Bewertung der Vulnerabilität und Schutzwirkung von Strandwäldern im Falle des Tsunami 2004 in Thailand.* Der Einfluss biologischer Faktoren, vor allem tropischer Küstenwälder, auf das Schadensausmaß eines Tsunami wird in der wissenschaftlichen Literatur noch immer kontrovers diskutiert. Auf Grundlage von fernerkundlichen und multivariat-statistischen Methoden wird in der vorliegenden Arbeit die Vulnerabilität und Schutzwirkung von Strandwäldern im Falle des Tsunamireignisses in Thailand 2004 untersucht. Mittels eines Post Classification Comparison wird aufgezeigt, dass die Variabilität des Schadensmaßes an verschiedenen Typen der tropischen Küstenvegetation stark von deren räumlicher Lage sowie der spezifischen Artzusammensetzung abhängt. Eine multiple Regressionsanalyse auf Grundlage der Change Detection-Analyse und vor Ort aufgenommenen Daten zur Vegetationsstruktur bestätigt ferner, dass Strandwälder eine Schutzwirkung gegenüber Tsunamis haben können, wenn sie bestimmte vegetationsstrukturelle Bedingungen erfüllen. In diesem Zusammenhang werden konkrete Vegetationsparameter sowohl für die Verwundbarkeit als auch für die Schutzwirkung von Strandwäldern identifiziert, die hauptsächlich von der vertikalen und horizontalen Walddichte abhängen. Ein abschließendes Fallbeispiel zeigt schließlich, wie die hier vorgestellte Arbeit in Kombination mit einer Tsunami-Gefahrenanalyse einen Beitrag zu einem gezielten und effizienten Küstenschutz leisten kann.

1 Introduction and Objectives

The Indian Ocean Tsunami 2004 can be seen as a turning point in tsunami science. Never before a tsunami disaster has been observed in such detail. Waves of significantly different height and inundation distances were recorded along the coastlines even in directly adjoining beach sections. These small scaled differences were mainly caused by variations of the near-shore-bathymetry in combination with heterogeneous characteristics of the onshore topography (WIELAND 2009). However, the influence of certain factors on the impact of a tsunami after contact with land is still discussed controversially. This applies mainly for the possible protective effect of environmental factors, such as beach forests. Their barrier effect, which is supposed to absorb and reflect the wave force as well as to decelerate the flow rate of a tsunami, depends on several complex factors, which are characterized by co-dependence and interaction amongst them (FORBES & BROADHEAD 2007). Especially due to its specific vegetation structure concerning the forest density and species composition as well as its vulnerability (in the following defined as extent of destruction), not all coastal forests constitute an effective protection barrier.

The paper at hand aims at two main aspects: (1) detecting the overall impact of the tsunami 2004 on different types of coastal vegetation (mangrove forests and various types of beach forests) in the study area and (2) providing a contribution for understanding the vulnerability and protective effect of especially beach forests in case of such waves.

Moreover, the research is part of a cooperative study focussing on the analysis of near-shore and on-shore geomorphological and environmental factors, which can directly influence the inundation width, damage extent and deceleration of a tsunami – with the overall goal of supporting local coastal protection in tropical tsunami endangered regions. In this connection a tsunami hazard analysis (briefly presented in Section 3) pointed out, which geomorphological factors are mainly influencing the inundation width of a tsunami. The results are demonstrated in tsunami factorial maps and hazard maps of the of the study area.

These maps allow a rapid identification of zones with increased tsunami hazard and enable furthermore a clear indication of the underlying factors, which determine the resulting hazard level. They can therefore form the basis for a more purposeful utilisation of the presented results regarding coastal tsunami protection.

2 Research Methodology

The research at hand is based on a post classification comparison of landuse and landcover (LULC) classifications before and after the tsunami 2004 (Fig. 1). After its implementation, it is possible to derive detailed information about the spatial distribution and intensity of tsunami induced damages on different coastal forest types (Section 4).

The results of the change detection analysis and additional data from a terrestrial survey are further used for multivariate statistical modelling with the objective to receive information about vegetation parameters, which are of major importance for the vulnerability as well as for the protective function of beach forests (Section 5).

On the basis of a case study, it is finally illustrated, how the combination of both de-

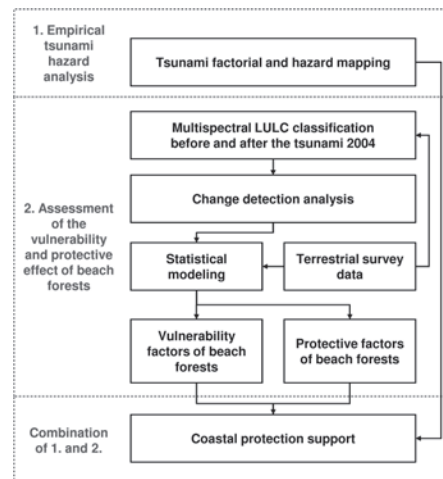


Fig. 1: Flowchart of the applied procedure for analysing tsunami influencing factors and supporting local coastal protection in the study area.

scribed research activities, the empirical tsunami hazard analysis mentioned above and the assessment of the vulnerability and protective effect of beach forests, can be used to support local coastal protection in an efficient and cost effective way (Section 6).

3 Impact of the Tsunami 2004 and its Potential Geomorphological Influencing Factors within the Study Area

The study area is located on the Malay Peninsula along the west coast of Thailand, also known as Andaman coast. It covers the coastal areas stretching from Ko Kho Khao in the north of Phang Nga province to the island of Phuket and further south to Ko Phi Phi Don in Krabi province (Fig. 2).

On December 26, 2004 at 7:58 h local time an earthquake of magnitude 9.3 on the Richter scale occurred in the Sunda-trench in front of the coast of Sumatra and triggered the fatal tsunami. Less than two hours after this event

the first waves reached the study area with its touristic hotspots around Khao Lak and Phuket. Just minutes later also the coastal areas of Krabi where hit by the incoming tsunami. Due to refraction around the northern tip of Sumatra, the waves moved in an easterly direction and hit the study area in a nearly perpendicular angle. Overall velocity and energy of the approaching tsunami have been reduced by a relatively wide continental-shelf in front of the Andaman coast. Variations of coastal configuration in combination with differing characteristics of the near-shore-bathymetry caused waves of significantly different height and characteristics along the coastline. In many regions of the study area, like in the northern and eastern part of Phuket or in Phang Nga bay, the tsunami occurred as extensive flood-like inundation of low lying coastal areas, comparable to a rapidly increasing tidal gauge, reaching water heights from 1–4 m. In other parts, like in Patong and Rawai Beach in the southern part of Phuket or in Khao Lak, wave heights of up to 12 m above sea level have been recorded. Therefore the damages in the study area have been overwhelming in certain areas, but have not been distributed homogeneously. Moreover, small-scaled differences in the degree of damage along the coastline could be observed (KELLETTAT & SCHEFFERS 2006).

Why are some areas more impacted by the tsunami waves than neighbouring ones? The factors which according to literature have the greatest influence on characteristics and impact of a tsunami can be divided into two groups. The first group is well studied and consists of morphological factors such as the width of the continental shelf, the near-shore-bathymetry (MURTHY et al. 2007), offshore islands (BRYANT 2008), horizontal shape of the coastline (KONG 2004) and the vertical profile of coastal topography (SYNOLAKIS & KANOGLU 1998). The second group, less studied so far, is composed of environmental factors like coral reefs (COCHARD et al. 2008, CHATENOUX & PEDUZZI 2007), mangroves (TANAKA 2007) and beach forests (COCHARD et al. 2008, FORBES & BROADHEAD 2007).

Based on GIS, remote sensing and multi-variate-statistical methods in an integrated approach, an empirical tsunami hazard analysis



Fig. 2: Location map of the study area, showing the Andaman coast in South-West-Thailand. (Data source: SRTM4)

considered more than 30 mainly morphological influencing factors on the tsunami impact 2004 on a regional scale (WIELAND 2009). The parameters, which could be identified as most important on the impact of a tsunami, are coral reefs, wave exposition (including degree of shelter from offshore islands), several factors of coastal topography and near-shore-bathymetry. Using the resulting regression-model tsunami factorial and hazard maps were created for this specific event (Fig. 3). The calculated hazard maps show good overall correlation with the real inundated areas, measured after the tsunami 2004. The factorial maps furthermore give a possible explanation for the dif-

ferent impacts along the coastline also taking into account environmental factors like coral reefs.

4 Change Detection Analysis for Identification of Coastal Vegetation Damages

The assessing of coastal vegetation and in particular tropical beach forests to possibly reduce the inundation width and the tsunamis' hydraulic force onshore requires at first a comprehensive analysis of the tsunami impacts within the study area. For this purpose a

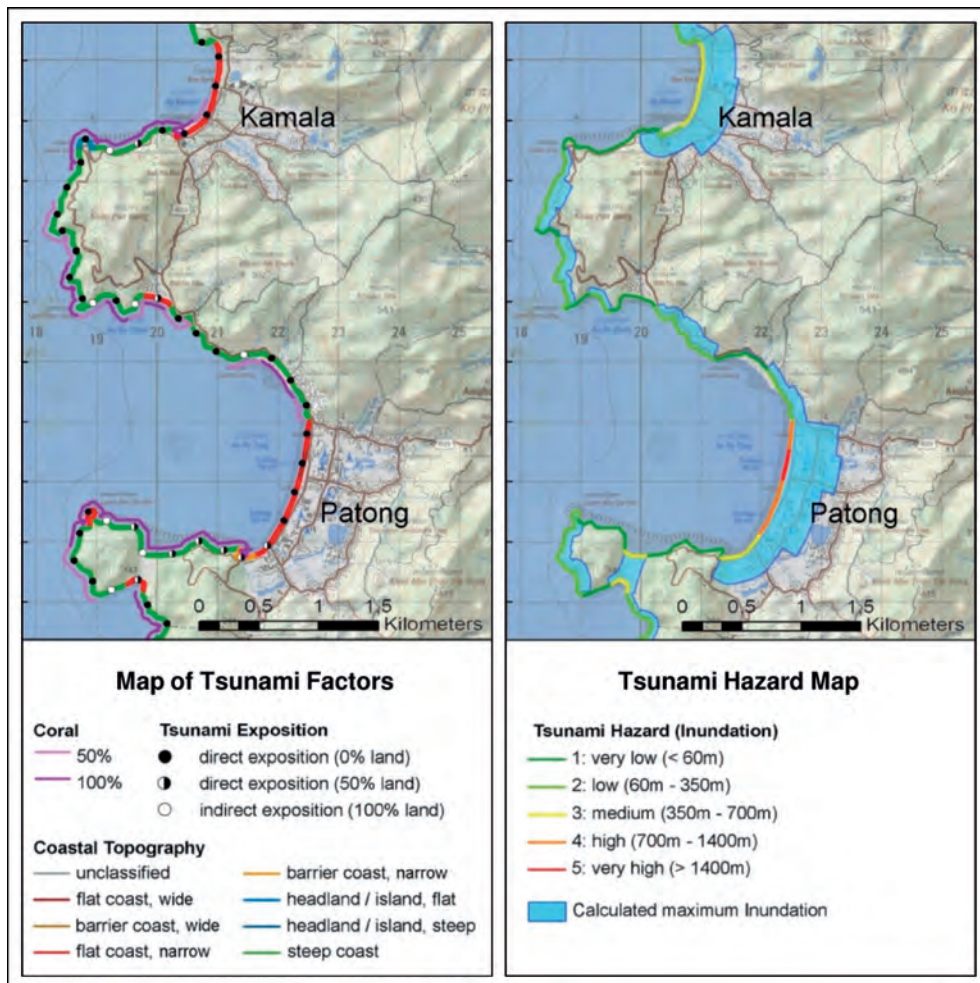


Fig. 3: Tsunami factorial (without nearshore bathymetry) and hazard map (calculated inundation areas) of Patong Beach and Kamala Beach in the south-western part of Phuket, Thailand.

change detection analysis of medium resolution satellite imagery (*ASTER - Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflectance Radiometer*) on the basis of a *post classification comparison* has been carried out in order to get detailed information about the spatial distribution and intensity of tsunami induced damages, especially on beach forests. Even though being dependent on the quality of the two independently produced LULC classifications (performed by a pixel-based classification algorithm with following knowledge-based post classification refinement) used as input for the change detection, the post classification comparison technique already proved capable of achieving very accurate overall results (LU et al. 2004). Moreover, this method minimises impacts of atmospheric, sensor and environmental/seasonal differences between multitemporal images, as the change detection analysis is not directly based on a comparison of the images' spectral values (MAS 1999).

4.1 Base Data, Image Pre-Processing and Spectral Enhancement

For the presented analysis, the following level 3 orthorectified ASTER images (P130/R54) with cloud cover <5% and recording date as close as possible to the tsunami event on 26/12/2004 were used:

- Pre tsunami: Two scenes from 31/01/2002, two scenes from 07/03/2003
- Post tsunami: Two scenes from 31/12/2004, two scenes from 08/02/2005

The ASTER sensor provides a wide spectral resolution with 14 different spectral bands (VNIR, band 1-4 / SWIR, band 4-9 / TIR, band 10-14) and a medium spatial resolution between 15 and 90 m.

To gain the maximum spatial and spectral information content from the imagery and to reduce disturbing influences from clouds and cloud shadows (e. g., possible false classifications due to its high spectral similarity with LULC classes like "infrastructure" and "bare soil" in the VNIR), different pre-processing and enhancement steps had to be performed. At first an *image fusion* of bands 4–9 from

30 m to 15 m spatial resolution by use of the *High-Pass-Filter resolution merge* (HPF-resolution merge) was done. The algorithm provides out-standing results concerning the preservation of spectral information during the image fusion process (DE JONG & VAN DER MEER 2004, MULARZ et al. 2000). This step was followed by the removal of clouds through generating a binary mask. It was created by performing a supervised classification of the satellite imagery with two classes – "clouds", "land/water" – and a subsequent GIS-based enhancement (merging, buffering and eliminating of false classifications) of the classification results. Finally the NDVI as well as brightness, wetness and greenness of the Tasseled Cap Transformation (YARBROUGH et al. 2005) and the first three bands of the Principal Component Analysis (PCA) were calculated in order to better separate different thematic classes within the later supervised classification process.

For a post classification refinement also a digital geological map (scale 1:250.000) was selected and an ASTER Digital Elevation Model (DEM) was implemented.

4.2 Multispectral LULC Classification Before and After the Tsunami 2004

The multispectral LULC classification of the pre- and post-tsunami satellite imagery, carried out within this study, consists of two main steps: a pixel based *supervised classification algorithm*, well suited for the classification of satellite images with medium spatial and wide spectral resolution, and a knowledge based *post classification refinement*. Both techniques were performed with the software ERDAS Imagine 9.1. To support the selection of training areas and the differentiation of classes during the supervised classification process, a terrestrial survey in the study area for the assessing of ground control points was already proceeded during a field trip in September and August 2008.

The supervised classification was conducted by a hybrid classification technique. The *parallelepiped classification* (also called *box classifier*) was chosen as first decision rule.

This according to JENSEN 2005 very efficient classification method assigns pixels with corresponding spectral signatures to a thematic class with a predefined signature interval. All other signatures which could not thus be assigned were then classified with the second decision rule, the *minimum distance algorithm* (cf. RICHARDS & JIA 2006).

The computed thematic images comprised 32 different thematic classes in the pre-tsunami- and 43 thematic classes in the post-tsunami-classification. After subsequent post-processing by the use of recoding as well as filtering (fuzzy convolution filtering 3 x 3) for reducing salt and pepper effects, the final LULC classifications consist of 15 thematic main classes (see Fig. 4).

Due to close spectral similarities between certain thematic classes (e. g., beach forest and tropical rainforest in shady mountain ridges) and resulting false classifications, a knowledge-based post classification refinement was carried out afterwards. Using the so called *knowledge classifier* in ERDAS Imagine 9.1





the spatial distribution of previously identified thematic classes can be modified by including further geodata like a DEM and geological maps in the classification process and assigning specific thresholds for the different classes of interest. It underlies a *hierarchical-decision-tree-structure* with (1) a *hypothesis* – the output class, (2) a *rule* – conditions for the variables, which can be defined by the user and (3) *variables* – the thematic classification and further geodata, from which characteristic values can be derived. For example, the following rule was set up for beach forest: Beach forest can only occur near to the coast (< 500 m distance from the coastline), only on sandy grounds, under a slope of 8° and up to heights of 10 m above sea level (GIESEN et al. 2007), otherwise it has to be classified as tropical rainforest.

Finally, an accuracy assessment with 300 test points (selection method: equalized random with 20 samples per class) for every classification was performed to statistically evaluate the quality of the LULC classifications

Tab. 1: Overall accuracy and omission/commission error for all thematic classes of the pre- and post-tsunami LULC classification.

Thematic Classes	Pre tsunami LULC classification			Post tsunami LULC classification		
	*Pa	**Ua	***Kc	Pa	Ua	Kc
Beach forest	86,36	95	0,95	100	100	1
Open beach forest	100	100	1	100	90	0,89
Casuarina forest	100	90	0,89	100	100	1
Mangrove forest	90,91	100	1	95,24	100	1
Tropical rain forest	95,24	100	1	90,91	100	1
Sp. veg. trop. rain f.	94,74	90	0,89	80	80	0,79
Scrubland	100	95	0,95	95	95	0,95
Lawn	95	95	0,95	100	100	1
Agriculture	90,48	95	0,95	94,44	85	0,84
Plantations	95	95	0,95	75	90	0,89
Bare soil with sp. veg.	100	90	0,89	100	100	1
Bare soil	86,96	100	1	100	95	0,95
Rocks	93,75	75,00	0,74	100	90	0,89
Infrastructure	100	85	0,84	100	85	0,84
	Overall accuracy: 93,67 %			Overall accuracy: 94,00 %		
* Producer's accuracy ** User's accuracy ***Kappa coefficient						

Tab. 2: Classification key for assigning the tsunami-induced LULC changes into different levels of damage.

Degradation Level	Description	Signature
No damage	<ul style="list-style-type: none"> No change of LULC Positive change of thematic classes (natural or anthropogenic change, e.g. "beach forest" to "plantation") 	
Medium damage	<ul style="list-style-type: none"> Changes with regard to the vegetation density or loss of higher vegetation Example: "beach forest" to "open beach forest"; "tropical rainforest" to "scrubland" 	
High damage	<ul style="list-style-type: none"> Changes to non-vegetated or very sparsely vegetated thematic classes Example: "beach forest" to "bare soil" or to "bare soil with sparsely vegetation" 	
Flooded area	<ul style="list-style-type: none"> Changes to thematic class „water“ 	

(RICHARDS & JIA 2006). Due to the implemented post classification refinement, high overall accuracies for both classifications could be achieved (see Tab. 1).

4.3 Post Classification Comparison of Pre- and Post-Tsunami LULC Classification

The computed LULC classification is suitable for a first qualitative assessment of the tsunami damages in the study area. However, for a quantitative analysis of the impacts, especially with regard to the extent of damage on the individual beach forest classes, a change detection analysis on the basis of a post classification comparison was needed. Within this change detection technique, the classified images are compared pixel wise by producing a change detection matrix (LILLESAND 2004). This generated layer provides the "from-to" information of every single thematic class, whereby its changes can be separately identified and evaluated, depending on the subject of investigation.

The changes between thematic classes in the study area have only been detected in a limited spatial area: the theoretical tsunami hazard zone. It has been defined by the maximum tsunami run-up height of 19 m above sea level and the maximum distance of tsunami inundation of 3 km inland (CHOOWONG et al. 2007, COCHARD et al. 2008) within the study area.

After implementation of the post classification comparison, the generated information has been prepared in a way that allows an ac-

curate acquisition of the locally different degree of damage on the coastal vegetation: the classification of the "from-to" changes into a damage/degradation-scale with four different levels (see Tab. 2).

It should generally be noted, that changes between thematic classes are not necessarily caused by the tsunami. Minor changes can also be originated by clearings, construction measures or natural effects of erosion between the recording date of the pre-tsunami images and the tsunami event in December 2004. However, due to the short period of time between the recording dates, these changes are negligible compared with the impact of the tsunami.

The damage extent of the coastal vegetation and of all thematic classes detected by the change detection analysis is presented exemplarily in the following maps (Fig. 4), which show the small fishing village Thap Lamu in the south of Khao Lak (see also Fig. 2).

4.4 Total Damage on Coastal Vegetation in the Study Area

The four types of coastal vegetation in the study area have been affected by the tsunami in a very different way. Fig. 5 shows the degree of damage on the different forest types in total (ha) as well as in percent of the pre tsunami area.

With almost 37.000 ha mangrove forest presents by far the largest part of coastal vegetation in the study area. Furthermore this class is significantly less affected (3.51% total degradation) by the tsunami than other class-

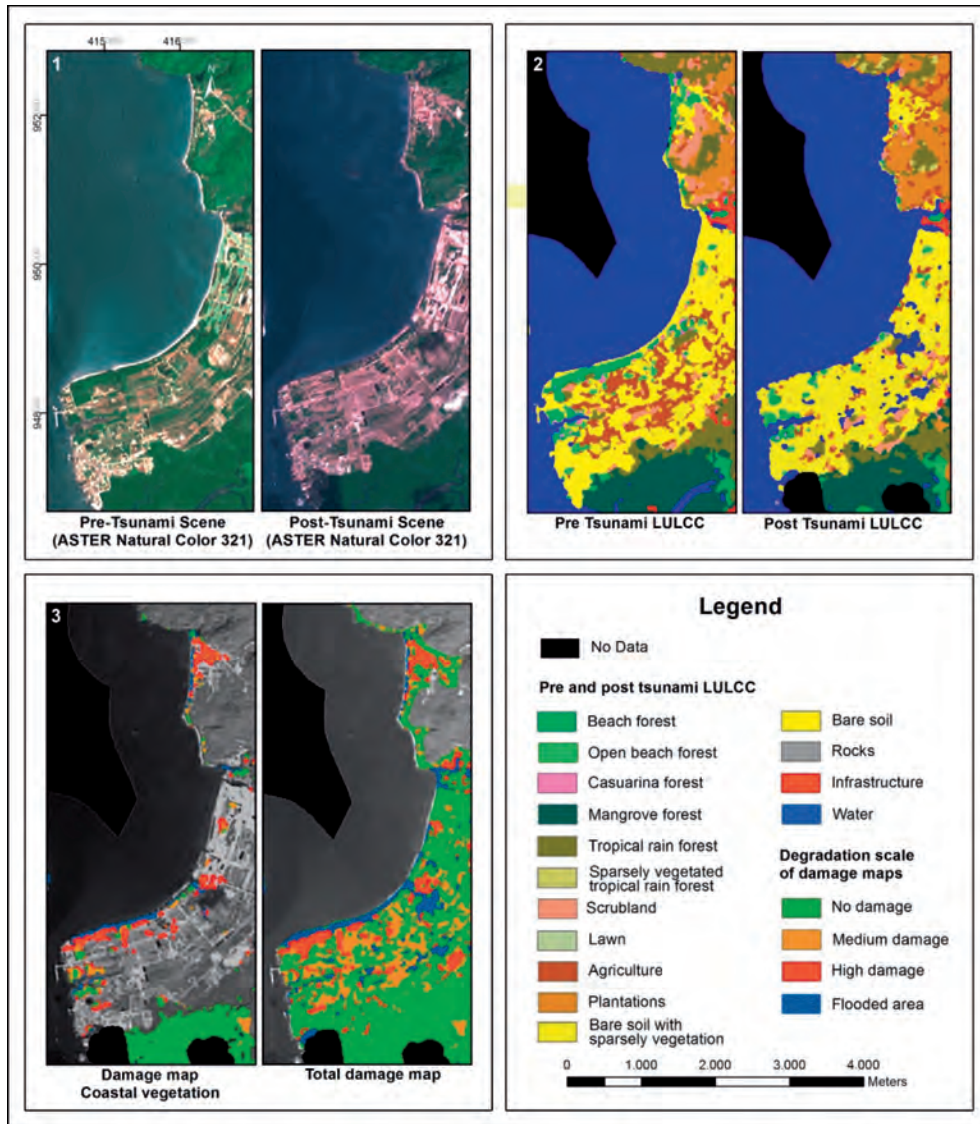


Fig. 4: (1) Examples of the pre- and post-tsunami ASTER-imagery, (2) the computed LULCC as well as (3) the resulting tsunami damage maps.

es. However, studies have shown that mangroves are usually strongly damaged if they get in direct contact with tsunami waves (TANAKA et al. 2006). Therefore the result of the change detection analysis confirms the assumption of COCHARD et al. 2008 and CHATENOUX & PEDUZZI 2007 that this type of coastal forest is, in contrast to the other presented types, more likely to be found in areas which are protected from the open sea, e. g., lagoons

or river estuaries. Thus they are rarely located in direct exposition to potential tsunami waves. As a result mangroves are less affected, but also do, due to its preferred growing locations, not seriously offer very much coastal protection for settlements and infrastructure in case of a tsunami.

Beach forest is the second largest type of coastal forest in the study area. This dense deciduous forest, consisting of different species

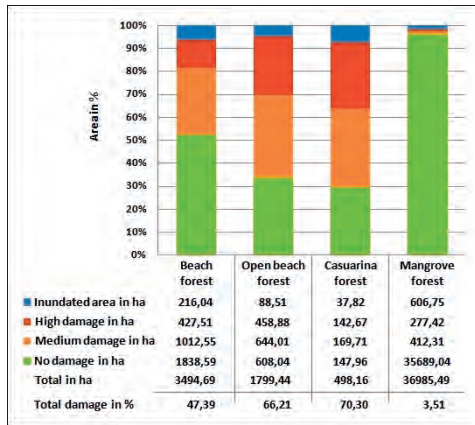


Fig. 5: Degree of damage on the different coastal forest types caused by the tsunami 2004 in the study area.

of “barringtonia formation” (see COCHARD et al. 2008), has been damaged to 47.39%. Open beach forest, a more sparsely vegetated forest has been harmed to 66.21%. The smallest forest type, the casuarina forest, only consists of one species – *Casuarina equisetifolia*. With 70.3% degradation in total, it was most affected by the tsunami waves. After TANAKA et al. (2006) this high proportion of damage can be explained by the high vulnerability of especially young casuarina populations (<0.1 m Diameter at Breast Height DBH). In situ investigations confirmed this observation (GÜNTHERT 2009).

5 Statistical Modelling of the Vulnerability and Protective Effect of Beach Forests

As already mentioned, the degree of damage on beach forests in the study area locally differs a lot. To assess, whether these different damage pattern are solely attributed to the different energy potential of the tsunami or also depend on the vegetation structure of the various forest sections, a linear multivariate regression analysis has been conducted (Section 5.1). As data input three different sources were taken: (1) On-site measured run-up heights of the tsunami 2004 (TSUTJI et al. 2006), (2) damages within the test sites as a result from the change detection analysis and (3) more than 10

vegetation parameters from 11 coastal test sites with a size of 2 ha.

For the selection of the test sites during the terrestrial survey, care was taken to ensure, that these areas were representative for the whole beach section. After selecting a representative test area, following parameters have been assessed: Forest width, number of individuals of the species, average height of the species, average height of the trees’ first branch, average diameter at breast height of the species, basal stem area of the species, average distance between the individuals, canopy cover, relative abundance and relative dominance of the species as well as type, height and coverage of the undergrowth.

Besides this, a second regression analysis was carried out to get further information about the possible correlation between the vegetation structure of beach forests (8 test sites with a size of 2 ha) and damage on settlements (within an area of 4 ha directly behind the test sites). This would be another indication for the controversially discussed protection function of beach forests in case of a tsunami (Section 5.2).

5.1 Multivariate-Statistical Operations for Detecting Influencing Factors on the Vulnerability of Beach Forests

The regression analysis for evaluating *the damage on beach forests* (dependent variable) within the 11 test sites implied four independent variables shown in Tab. 3. By these parameters, 94.8% of the damage variance could be explained (Adjusted R²: 0.984; F-test at a significance level of 5%: 0.00; T-test at a significance level of 5%: ≤0.029; condition index: ≤9.904). Its quantitative influence is expressed in unstandardized coefficient (absolute influence on the dependent variable) and standardized β-coefficient (relative influence on the dependent variable).

As expected, the local energy potential of the tsunami, expressed by the *run-up height*, is mainly responsible (β-coefficient: 0.997) for the extent of vegetation damage within the 11 test sites. This run-up height is the result of the spatially different topographical and bathy-

Tab. 3: Variables and its calculated coefficients of the regression analysis for evaluating the damage on beach forests.

Variables	Un-standardized Coefficients	Standardized Coefficients
Tsunami run-up height	9.76	0.997
Average forest height	-2.784	-0.843
Average height of the trees' first branch	-3.383	-0.561
Average distance between the species	-2.519	-0.262

metrical conditions on the shoreline. If it would increase about one meter, the total damage of the coastal forest would rise about 9.76% (see unstandardized coefficient, Tab. 3)

The statistical model also verifies the significant influence of structural parameters on the vulnerability of beach forests. The *average height of the forest* (Fig. 6, red arrows) is almost equally important (β -coefficient: 0.843) for its resilience than the run-up height and can be considered as the main structural risk parameter. This coincides with studies of COCHARD et al. (2008), who stated, that “*the most important factor whether a tree survives a tsunami wave (...) appears to be its size*”. It can be assumed, that forest height is directly correlated with the forest age, tree diameter and in most cases with higher rooting depth of the trees. These factors directly enhance the breaking strength of trunks and branches as well as the risk of undercutting. But above a certain age, the resilience of a tree declines because of the lowered elasticity of the tree stems. This fact could not be considered in the presented regression analysis.

The variable “average height of the trees' first branch” (Fig. 6, blue arrows) gives evidence about the *vertical density* within the stand. With increasing height of the first branch by 1 m, the non-vegetated range from the ground to the canopy gets greater. As a result the forest provides a more permeable bar-

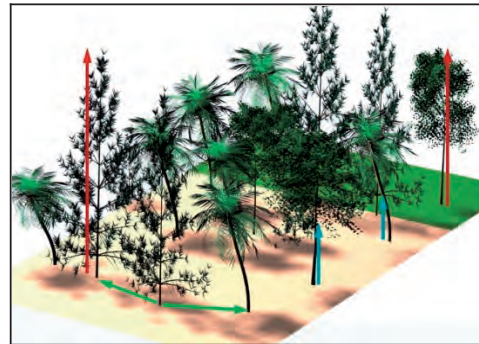


Fig. 6: Most important vegetation parameters in a beach forest concerning its vulnerability and protective effect in case of a tsunami.

rier (FORBES & BROADHEAD 2007) whereby the waves' hydraulic force on the trees is attenuated and the damage on the forest is reduced by 3,38%.

The “average distance between the single species” (Fig. 6, green arrows) as an indicator for *the horizontal forest density* (β -coefficient: 0.262) also influences the permeability and thus the damage on the forest (unstandardized coefficient: -2.591).

5.2 Multivariate-Statistical Operations for Detecting Influencing Factors on the Protective Effect of Beach Forests

Several studies suggest the major role of beach forests as a protective barrier by absorbing and reflecting the waves' energy as it passes through the forest (e. g., COCHARD et al. 2008, FORBES & BROADHEAD 2007). By evaluating a second multivariate statistic operation, the study at hand could confirm this point of view about the mitigation effect of beach forests by detecting a statistically significant correlation between specific structural parameters within 8 test sites and the damage on settlements behind them (3 test sites could not be integrated in the calculation because of the absence of settlements behind them). The regression analysis for evaluating *the damage on settlements and infrastructure behind beach forests* (dependent variable) contained two independent variables (see Tab. 4), by which 93.3% of

Tab. 4: Variables and its calculated coefficients of the regression analysis for evaluating the damage on settlements and infrastructure behind beach forests.

Variables	Un-standardized Coefficients	Standardized Coefficients
Average height of the trees' first branch	6.137	0.682
Number of different species	-10.132	-0.468

the damage variance could be explained (Adjusted R^2 : 0.933; F-test at a significance level of 5%: 0.01; T-test at a significance level of 5%: ≤ 0.008 ; condition index: ≤ 7.726).

The “average height of the trees' first branch”, which gives information about the *vertical density* (as explained in Section 5.1), has the greatest influence on the damage extent of the infrastructure behind the test sites (β -coefficient: 0.682). With an increase of the height of the first branch, the damage on settlements would also increase about 6.1%. This can be explained by the higher permeability and therefore reduced mitigation effects: a stand with sparse undergrowth and trees with few branches at lower levels (e. g., coconut forest; old casuarina forest) has very low reflection and energy absorption effects. As a result it hardly reduces the inundation depth and hydraulic force of the tsunami. The wave thus streams almost unabated throughout the forest and unloads its whole energy on the infrastructure behind.

The second variable within the regression model, the “number of different species” (β -coefficient: -0.468), also influences the vertical density. With a larger number of species the forest has a more heterogeneous structure with different growth heights and habits. So the mitigation effect will increase by this variation of the vertical stand structure and damage on settlements can severely be reduced (unstandardized coefficient: -10.132). Own investigations on Phuket, Thailand show, that a beach forest with four different species (*Casuarina equisetifolia*, *Pandanus tectorius*, *Ter-*

minalia catappa, *Cocos nucifera*) offered much greater protection from the tsunami than others with only two species (*Cocos nucifera*, *Casuarina equisetifolia*), at a similar run-up height (GÜNTHERT 2009).

6 Potential Afforestation Measures for Increasing the Protection from Tsunami Waves: The Case Study of Kamala Beach

The following case study shows how a combination of empirical tsunami hazard assessment (see Section 3) and the presented work could possibly be applied to support local coastal protection in a targeted and efficient way. By using tsunami factorial and hazard maps it would be possible to rapidly identify zones of increased tsunami hazard together with its causes. Within the identified zones the empirically derived coefficients, presented in Sections 5.1 and 5.2, could be utilized to calculate the possible vulnerability and protective effect of beach forests by use of a regression equation. If the mitigation effect of the specific forest is considered to be low, the effectiveness of potential afforestation measures could also be statistically modelled.

The capacity of a beach forest to withstand and buffer any tsunami impact strongly depends on the magnitude of the impact. In areas, where the tsunami force was overwhelming, the buffering role of vegetation was probably fairly negligible (COCHARD et al. 2008). Therefore especially those areas with a less seriously threat are preferred for afforestation measures.

The test site of Kamala Beach (2 ha) (see Fig. 2), an important tourist centre on the west coast of Phuket island, is classified by the tsunami hazard map as an area of medium tsunami inundation hazard - the calculated inundation width amounts between 350–700 m (Fig. 3). During the tsunami 2004 the test site has been hit by a wave of 4 m height, whereby the village of Kamala behind the test area got damaged by 66%. The coastal forest within the test site, which only consists of *Casuarina equisetifolia* (see Tab. 5) was damaged by

Tab. 5: Vegetation structure of the test site "Kamala Beach".

Species	Number of individuals	Ø-height in m	Ø-height of first branch	Ø-distance between individuals
<i>Casuarina e.</i>	347	39	4,5	3,6

15.25%. (all damage parameters are based on the results of the change detection analysis, but were also similarly calculated by the regression equation).

Overall, this very old forest has a low vertical and horizontal density and therefore did not offer sufficient protection against the tsunami waves. To gain a better protective effect of this vegetation barrier, afforestation measures have to be conducted, but in a way that allows a state of balance between vulnerability and protection. If the forest would be afforested too dense (calculated theoretical damage on settlements of 0%), a large wave may completely level the forest and pass over unmitigated. This effect is usually accompanied by its total destruction (damage on forest of 100%), resulting in an additional hazard for the coastal village from the debris laden water (FORBES & BROADHEAD 2007).

So on the one hand the desired afforestation project needs to improve the green belts' vertical density by replacing a part of the casuarina species by smaller trees with a proven robustness against tsunami waves – like *pandanus tectorius*, a species with supported aerial roots. On the other hand, additionally planted trees of *hibiscus tiliaceus* which are cultivated for tsunami protection in Japan, directly enhance the horizontal density of the forest as well as the vertical stand structure.

Tab. 6 shows the vegetation structure of the test site after potential afforestation measures (the several parameters of the new species have been recorded in a similar manner on other test sites, the same applies for the new species composition and its species proportion).

The statistical modelling of the vulnerability and protective effect of the afforested test site led to the following results: The damage on settlements would now amount 35.58%

Tab. 6: Vegetation structure of the test site "Kamala Beach" after afforestation measures.

Species	Number of individuals	Ø-height in m	Ø-height of first branch	Ø-distance between individuals
<i>Casuarina e.</i>	209	39	4,5	2,5
<i>Pandanus t.</i>	138	8,6	1,85	
<i>Hibiscus t.</i>	150	12	2	

(damage reduction of 30.42%). At the same time the damage on the beach forest would amount 51.81% (damage increase of 36.56%).

Thus the protective effect of the beach forest could be increased significantly. The waves' energy would be reduced by the improved absorbing and reflecting effect of the afforested vegetative barrier (resulting in a greater damage on the beach forest) and the settlements behind are protected in a more efficient way in case of a future tsunami.

7 Conclusions and Outlook

The described approach for a comprehensive assessment of the vulnerability and protective effect of tropical beach forests by using change detection and terrestrial survey methods in combination with multivariate statistic modelling proved to be very effective. However, due to the limited number of test sites, the determined statistical parameters can hardly be considered representative for other tropical coastal regions affected by the tsunami. But its high statistical quality (adjusted R^2 : > 93%) leads still to the assumption, that this study provides valid evidences for the significance of specific vegetation structures, which determine whether a tropical beach forest provides a protective effect in case of a tsunami or not. Attention should also be paid for the forest's vulnerability. The buffering effect of vegetation barriers is always accompanied by its partly or full destruction and can in the latter case lead to an even greater threat for settlements by increased debris flow.

Further investigations should now be done to validate and enhance the statistical models for the vulnerability and protective effect of

beach forests from the study at hand. In this context, it would also be interesting to explore its transferability to other tsunami endangered regions like Chile and/or Japan.

References

- BRYANT, E., 2008: *Tsunami: The Underrated Hazard*. – 2nd ed., Cambridge Univ. Press., Cambridge.
- CHATENOIX, B. & PEDUZZI, P., 2007: Impacts from the 2004 Indian Ocean Tsunami: analysing the potential protecting role of environmental features. – *Natural Hazards* **40**: 289–304.
- CHOOWONG, M., MURAKOSHI, N., HISADA, K., CHARUSIRI, P., DAORERK, V., CHAROENTITIRAT, T., CHUTAKOSITKANON, V., JANKAEW, K. & KANJANAPAYONT, P., 2007: Erosion and Deposition by the 2004 Indian Ocean Tsunami in Phuket and Phang-nga Provinces, Thailand. – *Journal of Coastal Research* **23** (5): 1270–1276.
- COCHARD, R., RANAMUKHAARACHCHI, S., SHIVAKOTI, G., SHIPIN, O., EDWARDS, P. & SEELAND, K., 2008: The 2004 tsunami in Aceh and Southern Thailand: A review on coastal ecosystems, wave hazards and vulnerability. – *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* **10**: 3–40.
- DE JONG, S.M. & VAN DER MEER, F.D., 2004: *Remote Sensing Image Analysis. Including the Spatial Domain*. – Springer Netherlands, Dordrecht, NE.
- FORBES, K. & BROADHEAD, J., 2007: The role of coastal forests in the mitigation of tsunami impacts. – *RAP Publications 2007* (1), FAO Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok, Thailand.
- GIESEN, W., WULFRAT, S., ZIEREN, M. & SCHOLLEN, L., 2007: *Mangrove Guidebook for Southeast Asia*. – RAP Publication 2006/7. FAO Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok, Thailand.
- GÜNTHERT, S., 2009: Untersuchungen zur Vulnerabilität und Schutzfunktion von Strandwäldern bei Tsunami-Ereignissen: Eine GIS- und fernerkundungsgestützte Analyse am Beispiel des Tsunami vom 26.12.2004 in Thailand. – Unpublished Diploma Thesis. University of Heidelberg.
- JENSEN, J.R., 2005: *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. – 3rd ed., Pearson Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, USA.
- KELLETAT, D., SCHEFFERS, S. & SCHEFFERS, A., 2006: Learning from the Southeast-Asian Tsunami: Examples from Thailand's West Coast. – *Geographische Rundschau International Edition* **2** (1): 4–9.
- KONG, L., 2004: *Oceanography Special Report*. – ioc3.unesco.org/itic/files/worldbook_tsunami.pdf (11.11.2008).
- LILLESAND, T., KIEFER, R. & CHIPMAN, J., 2004: *Remote Sensing and Image Interpretation*. – 5th ed., Wiley, Hoboken, NJ, USA.
- LU, D., MAUSEL, P., BRONDÍZIO, E. & MORAN, E., 2004: Change detection techniques. – *International Journal of Remote Sensing* **25** (12): 2365–2407.
- MAS, J.-F., 1999: Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques. – *International Journal of Remote Sensing* **20** (1): 139–152.
- MULARZ, S., DRZEWIECKI, W. & PIROWSKI, T., 2000: Merging Landsat TM Images and airborne photographs for monitoring of open-cast mine area. – *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* **33** (B7): 920–927.
- MURTHY, K.S.R., MURTY, G., RAO, K. & SUBRAHMANYAM, V., 2007: Impact of coastal morphology, structure and seismicity on the tsunami surge. – *The Indian Ocean Tsunami*. London, Taylor and Francis.
- RICHARDS, J.A. & JIA, X., 2006: *Remote Sensing Digital Image Analysis*. – 4th ed., Springer, Berlin.
- SYNOLAKIS, C.E. & KANOGLU, U., 1998: Long wave runup on piecewise linear topographics. – *Journal of Fluid Mechanics* **374**: 1–28.
- TANAKA, N., SASAKI, Y., MOWJOOD, M., JINADASA, K. & HOMCHUEN, S., 2006: Coastal vegetation structures and their functions in tsunami protection: experience of the recent Indian Ocean tsunami. – *Landscape and Ecological Engineering* **3** (1): 33–45.
- TSUJI, Y., NAMEGAYA, Y., MATSUMOTO, H., IWASAKI, S.-I., KANBUA, W., SRIWICHAI, M. & MEE-SUK, V., 2006: The 2004 Indian tsunami in Thailand: Surveyed runup heights and tide gauge records. – *Earth, Planets and Space* **58**: 223–232.
- WIELAND, M., 2009: Einsatz von GIS und Fernerkundung in der Katastrophenvorsorge: Analyse und Bewertung tsunamigefährdeter Küstenbereiche entlang der Westküste Thailands. – Unpublished Diploma Thesis. University of Heidelberg.
- YARBROUGH, L., EASSON, G. & KUSZMAUL, J., 2005: Using At-Sensor Radiance and Reflectance Tasseled Cap Transforms Applied to Change Detection for the ASTER Sensor. – *IEEE Third International Workshop on the Analysis of Multi-temporal Remote Sensing Images*.

Addresses of the Authors:

Dipl.-Geogr. SEBASTIAN GÜNTHERT, Prof. Dr. ALEXANDER SIEGMUND, University of Education & University Heidelberg, Department of Geography, D-69115 Heidelberg, Phone: +49-6221-477-795, -771, e-mail: guentherth@ph-heidelberg.de, siegmund@ph-heidelberg.de

Dipl.-Geogr. MARC WIELAND, GFZ German Research Centre for Geosciences, Department 2 Physics of the Earth, Section 2.1 Earthquake Risk and Early Warning, D-14473 Potsdam, Phone: +49-331-288-1283, e-mail: mwieland@gfz-potsdam.de

Manuskript eingereicht: Februar 2011
Angenommen: April 2011



Rapid Mapping of Forest Fires in the European Mediterranean Region – a Change Detection Approach Using X-Band SAR-Data

EVA-MARIA BERNHARD, ANDRÉ TWELE & MONIKA GÄHLER, Oberpfaffenhofen

Keywords: Change detection, TerraSAR-X, burned area detection, forest fire

Summary: Usually, optical data are used for detecting burned areas in a rush mode, but the analysis of these data is often limited due to persistent cloud cover or haze. This paper focuses on the potential of X-band SAR data for mapping forest fires in the European Mediterranean region. The goal of the study was the development of an object-based, semi-automatic, robust and fast but at the same time accurate and transferable algorithm for the detection of burned areas in case of rapid mapping. For this reason change detection techniques based on image differencing, rationing and index calculation were applied. Prior to the SAR data analysis, a number of pre-processing procedures were carried out, including the elimination of speckle noise by Gamma-DE-MAP filtering, radiometric and geometric calibration as well as computation of sigma nought, a scattering coefficient. In the course of devastating fires in Greece and La Palma in 2009, a multi-temporal backscatter coefficient analysis of fire affected and unburned areas were performed. Within this comparison, the detected signal of VV and HH polarisations showed significantly higher values in images acquired after the fires than before the fires. However, VV polarised data showed a higher amplitude between pre- and post-disaster backscatter levels than HH polarised data. The classification result has been validated by SPOT 5 data and achieved an overall accuracy of 77.9%. Thus, burned area detection with SAR data could potentially play a significant role in forest fire detection in Europe.

Zusammenfassung: *Brandflächendetektion auf Basis von X-Band Radarsatellitendaten im europäischen Mittelmeerraum.* Eine schnelle Brandflächendetektion mittels Satellitendaten wird zurzeit hauptsächlich auf Basis von optischen Daten vorgenommen, wobei hier Wolkenbedeckung und Rauch zu starken Beschränkungen bei der Erfassung führen können. Der Fokus dieser Arbeit lag auf der Ermittlung des Potenzials von X-Band Radarsatellitendaten zur Brandflächendetektion im europäischen Mittelmeerraum. Hauptaugenmerk lag dabei auf der Entwicklung eines objekt-basierten, semi-automatischen, robusten und schnellen, jedoch auch räumlich genauen und übertragbaren Algorithmus zur Brandflächendetektion im Rahmen katastrophengebender Notfallkartierung. Das Verfahren stützt sich auf eine multitemporale Veränderungsanalyse, die auf der Basis von Differenzbildern, Ratiobildern und einer Index-Berechnung beruht. Hierfür wird zunächst eine Datenvorprozessierung durchgeführt, welche eine Reduktion des störenden Speckle-Effektes durch den Gamma-DE-MAP Filter, sowie eine radiometrische und geometrische Kalibrierung umfasst. Am Beispiel der verheerenden Waldbrände in Griechenland und La Palma im Jahr 2009 wurde das Rückstreuverhalten von verbrannten und unverbrannten Flächen auf multitemporaler Datenbasis untersucht. Dabei ergab sich, dass sowohl die VV- als auch die HH-Polarisation signifikant höhere Werte in Satellitendaten aufweisen, die nach dem Brand aufgenommen wurden, als in Satellitendaten, die vor dem Brand aufgezeichnet wurden. Es war jedoch festzustellen, dass durch die Nutzung von VV Polarisation ein höherer Unterschied in Rückstreuwerten zwischen der Pre- und Postdisaster Satellitenbildszene festzustellen war als bei Nutzung von HH Polarisation. Die erreichte Klassifikationsgenauigkeit des Verfahrens belief sich auf 77,9% und wurde anhand von SPOT 5 Satellitenbildern validiert. Somit könnten Radar-Sensoren in Ergänzung zu optischen Satelliten eine entscheidende Rolle für die Feuerbeobachtung und Kartierung im europäischen Mittelmeerraum spielen.

1 Introduction

Forest fires do not only pose a severe threat to land and life, but also cause long-term damage to vegetation and soil moisture. Furthermore, fires contribute to an increase in soil erosion and land degradation and affect global warming due to rising CO₂-emissions (CHUVIECO 2009). Since the 1970s, the number of forest fires doubled in the Mediterranean region and in 2009, fires destroyed more than 323.000 hectares of land (JRC 2009, JUSTICE & KORONZTI 2001). This increased fire activity reflects regional changes in reduced moisture availability and higher temperatures due to climate change. Thus, the number of fires will most likely aggravate in the future, and an all-over fire monitoring is mandatory. In the course of devastating forest fires in Spain and Greece in July/August 2009, the International Charter *Space and Major Disasters* was activated in order to supply and analyse satellite data for rapid mapping purposes. The fires destroyed thousands of hectares of forest land as well as farmland, and numerous residents had to be evacuated. The *Center for Satellite Based Crisis Information* (ZKI) of the *German Aerospace Center* (DLR) was assigned to detect the burned areas based on the following optical data sets: SPOT 5, IKONOS and ALOS AVNIR-2. In some parts of the image, cloud cover precluded the detection of fires, and spectrally similar regions (cloud shadows, rimland and open space) furthermore led to misclassifications. However, a fast and exact detection of the fire-affected areas is indispensable both for on-site help and for an assessment of the aftermath. Therefore, the potential of TerraSAR-X to detect burned areas in a rush mode was investigated. A more detailed description concerning the TerraSAR-X satellite can be found in (BUCKREUSS & SCHÄTTLER 2010, PITZ & MILLER 2010).

Multi-temporal spaceborne Synthetic Aperture Radar (SAR) data have been used for many and diverse mapping purposes. Land cover changes which occur in bad weather conditions or active fires can be detected by the use of microwaves due to its ability to penetrate clouds and haze (ATTEMA et al. 1998). They are independent of sun illumination and thus offer a high frequency in data acquisi-

tions. Previous work confirmed the utility of SAR data for the estimation of burned areas in different parts of the world. Most studies focusing on burned area detection by means of microwaves were carried out in the boreal forest (RANSON et al. 2001, FRENCH et al. 1999, BOURGEOU-CHAVEZ et al. 1995, KASISCHKE et al. 1992), with a few exceptions such as TANASE et al. (2010), GIMENO et al. (2004), GIMENO & AYANZ (2004), MENGES et al. 2004, and SIEGERT & RÜCKER (2000), who focused on forest fires in the Mediterranean region, in the tropical rain forest and Australia. Many researchers employed P-, L- and C-band data for burned area mapping (GIMENO et al. 2004, MENGES et al. 2004, KARSZENBAUM et al. 2003, RANSON et al. 2001), except TANASE et al. (2010), whose study showed promising results in using TerraSAR-X data for fire severity assessment, observed on created plots in a burned area in the European Mediterranean region. Due a lack of studies utilizing X-band SAR data for detailed burned area mapping, the present study further investigated this topic. The radar backscattering coefficient expresses the total intensity received by the SAR system. The measured signal is a complex combination of different sources and is influenced by viewing geometry, soil and vegetation moisture, vegetation type and orientation, surface roughness and topography. The removal of leaves and branches due to fire directly influences the radar backscatter, depending on wavelength and study area. Therefore a backscatter increase over burned areas as well as a decrease could be detected (NAKAYAMA & SIEGERT 2001, TANASE et al. 2010). X-band SAR is more sensitive to canopy surface scattering and can not penetrate deeply into the vegetation like L- or P-bands (LILLESAND et al. 2004). For this reason, the suitability of X-band SAR for detecting burned areas in a Mediterranean region needs to be investigated.

2 Study Areas and Satellite Data

The study areas were located in the Canary Island of La Palma and in Grammatico, 30 kilometers northeast of Athens, Greece. Both study areas are influenced by the Mediterranean climate with wet and mild winters and

dry and hot summers. These conditions make the Mediterranean region prone to forest fires, primarily in the late summer months, when vegetation suffers from water stress. Both study areas are characterized by a strong relief with steep slopes. The elevations are ranging from sea level up to 500 meters (Greece) and 1900 meters (La Palma) above sea level. The distinctive topography strongly influences the radar backscatter. The forest fire in Grammatico was located near the Gulf of Petalion in the east and the Gulf of Notois Evoikos in the north. The area was mostly covered by sclerophyllous vegetation, pastures and transitional woodland-shrub vegetation (CORINE land cover classification). The total burned area comprises approximately 3.100 hectares. The fires in La Palma were located in the south of the island, and affected an area covered by coniferous forest, pastures, sclerophyllous vegetation, sparsely vegetated areas, and agricultural areas which consisted of permanently

irrigated land, fruit trees and berry plantations (CORINE land cover classification). In La Palma the forest fires destroyed an area of approximately 2.800 hectares. Fig. 1 shows SPOT 5 images of the study sites in Greece (a) and La Palma (c). The images are displayed as false colour composites with the band combination middle infrared, infrared and green. The burned area can clearly be visually discriminated (brown) from the remaining parts of the image. Also shown in Fig. 1 is a TerraSAR-X false colour composite (b) of the forest fires in Greece. For the RGB image, a pair of satellite data before (08.03.2009, green) and after (31.08.2009, red and blue) the fire is used. The fire-affected area is clearly silhouetted (green) against the mainland in purple and the sea in black.

The SAR data set consists of three pairs of TerraSAR-X StripMap images, always acquired before and after the forest fires. More detailed information on the satellite data is given in Tab. 1. All images were ordered in

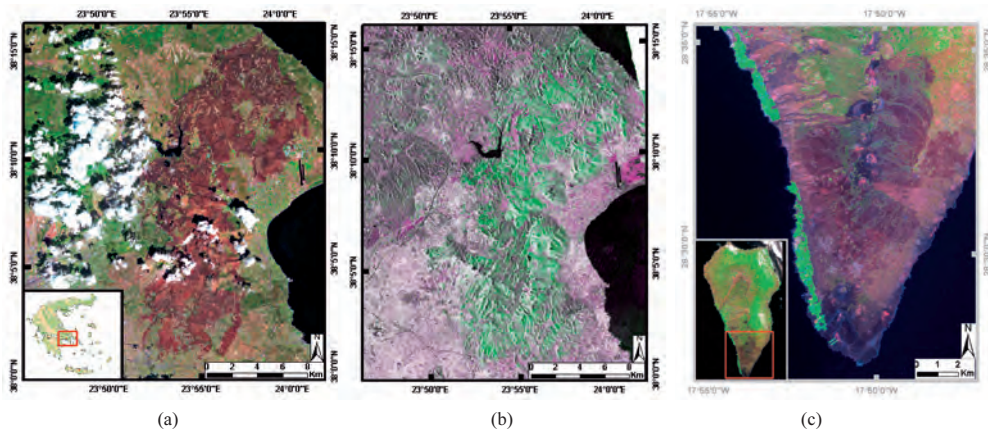


Fig. 1: The study areas in Greece (a, b) and La Palma (c) shown by SPOT 5 (a, c) and TerraSAR-X images (b).

Tab. 1: Available satellite data.

Study Area	Date	Fire Condition	Modus	Polarisation	Orbit	Incidence Angle
La Palma	13.12.2007	before	StripMap	HH	ascending	33.4°
La Palma	09.08.2009	after	StripMap	HH	ascending	33.4°
Greece	13.05.2008	before	StripMap	VV	descending	26.5°
Greece	29.08.2009	after	StripMap	VV	descending	26.5°
Greece	08.03.2009	before	StripMap	HH	ascending	31.1°
Greece	31.08.2009	after	StripMap	HH	ascending	31.1°

single-look slant-range complex (SSC) format. The TerraSAR-X sensor is able to record data in X-band with four different polarisation modes: horizontal transmit and horizontal receive (HH), horizontal transmit and vertical receive (HV), vertical transmit and vertical receive (VV) or vertical transmit and horizontal receive (VH).

Due to a lack of ground truth data, SPOT 5 images were used for the evaluation of the TerraSAR-X detected burned area. Pre-processing steps applied to the SPOT 5 data include orthorectification, topographic normalization, co-registration to the TerraSAR-X images and atmospheric correction. The burned area used for validation was derived through a visual classification based on different band combinations and indices (e.g., MSAVI, NDSWIR and BAI).

3 Methodology

The goal of the study was the detection of forest fires in X-band SAR data at HH and VV polarisation in topographically varied landscape in the Mediterranean. For this scope, adequate pre-processing was mandatory, and different change detection approaches were used.

3.1 Pre-Processing

The TerraSAR-X pre-processing was performed in three steps using the SARscape software (by Sarmap). All images were acquired in SSC format and the corresponding data pairs had the same orbit and frame. First, the radar data were multi-looked to the standard StripMap resolution of 3 meters x 3 meters per pixel. Second, a speckle filter was applied. For highly textured, hilly and high-resolution satellite images, the Gamma-DE-MAP filter provides good results and was accordingly applied to all images. Subsequently, the images were geocoded and orthorectified to Universal Transverse Mercator (UTM) projection using a digital elevation model (DEM) with 30 meters pixel spacing. To avoid radiometric distortions due to the strong relief, a topographic normalization was applied. Since a radiomet-

ric calibration of the backscatter values is mandatory for intercomparison of radar images acquired in different modes or different points in time, it was accordingly applied to the data set. All resulting images were converted to sigma nought. Sigma nought is a conventional measure of the strength of radar signals reflected by a distributed scatterer, and is usually expressed in dB values. Plots with 20 meters x 20 meters were generated and randomly distributed over the image to analyse radar backscatter changes between burned and unburned areas. Since different classes (like sparsely vegetated areas or coniferous forest) are difficult to identify in single-polarised TerraSAR-X data, they were chosen on the basis of SPOT 5 images. By the use of the CORINE land cover classification, the classes coniferous forest, sparsely vegetated areas, bare rock, continuous urban fabric and sea and ocean were identified and assigned to the TerraSAR-X images. Six plots for each class were selected. Considering the microwave characteristics, half of the plots were arranged in slopes facing the SAR antenna and half in slopes facing away from the sensor. Previous to this work, the burned area was mapped using SPOT 5 images. The area detected was used to define eight plots in the TerraSAR-X images, also half oriented toward the sensor and half oriented away.

3.2 Change Detection

The pre-processed images were further analysed in the eCognition Developer software (by Trimble). On pixel basis, three different change detection techniques were applied: Image differencing, rationing and the calculation of the normalized change index (NCI) based on images acquired before and after the disaster. Image differencing, image rationing and NCI calculation are well known techniques for land cover change detection (Lu et al. 2004). Image differencing means measuring changes in radar backscatter by subtracting the dB values, pixel by pixel, between the two dates before and after the fire, whereas image rationing describes the measurement of changes by dividing the dB values, likewise pixel per pixel. The NCI is calculated by

$$NCI = \frac{(post - pre)}{(post + pre)} \quad (1)$$

where “post” is the post-disaster data set and “pre” is the pre-disaster data set. Thus, three new layers were generated. Fig. 2 shows the difference layer of the HH polarised TerraSAR-X images from August 31, 2009 and March 03, 2009 on the left compared to the SPOT 5 data on the right. The higher the difference between the two TerraSAR-X images, the brighter the image. The difference value is much higher over the burned area than in the remaining parts of the image and thus clearly visible. Just some parts of the sea surface are, similar to the burned area, also visible in greyish tones, possibly due to a different state of waves. For a direct comparison of the burned areas derived from SAR and optical data, the TerraSAR-X difference image was overlaid by the burned area (red) extracted of the SPOT 5 images. It becomes obvious that there is a high correlation between the grey areas of the difference image and the extent of the burned areas detected from SPOT 5 data. Furthermore, the orange and blue circles in Fig. 2 highlight probably the biggest advance of the TerraSAR-X satellite in case of burned area mapping. Regions which can not be interpreted in optical images due to cloud cover can be analysed in microwave data. In this example, the orange circle shows greyish tones in the TerraSAR-X image as an indication of fire af-

ected areas, whereas the blue circle does not show high difference values in the TerraSAR-X image which indicates unburned vegetation.

An image segmentation was performed using the three change detection layers. In order to avoid misclassifications due to high difference values of the sea surface, the first classification step was to extract areas covered by water. The water classification was performed on the post-disaster satellite image. Due to the fact that water usually acts like a specular reflector, the water areas were detected by means of their low backscatter values. Subsequently, the burned area was detected via a threshold based on the change detection difference layer. Small, misleadingly detected unburned areas were eliminated by defining a minimum mapping unit.

4 Results and Discussion

The radar backscatter value is dependent on the roughness of the ground layer, the shape, the orientation of scatterers and the sensor geometry. The rougher the surface, the higher the backscatter value (LILLESAND et al. 2004). X-band SAR is more sensitive to canopy surface scattering than L- or P- bands. Thus, the same surface seems rough for X-band microwaves causing high backscatter values, but intermediate or smooth for L-band micro-

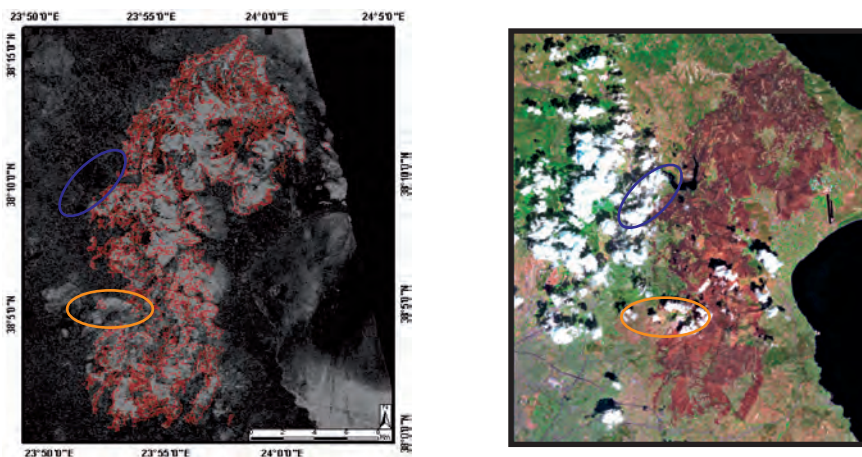


Fig. 2: TerraSAR-X difference image in comparison to the SPOT 5 image.

waves resulting in lower backscatter values (LILLESAND et al. 2004). Hence, in unburned forests, X-band radar waves show a high tree crown scattering behaviour. Forest fires cause the removal of foliage, branches and even trees. Thus, other elements, like the ground layer, become transparent to the radar wave. According to this, the backscatter is primarily the result of the scattering mechanism occurring in trees that remained during the fire, the proportion of exposed ground and tree and soil moisture. The radar signal of burned areas is dependent on many factors such as fire severity (e.g., percentage of removed foliage, size and number of remaining branches and height of stems), wind velocity and direction, relief, vegetation and human influences like fire breaks or streets. Therefore, a general answer concerning the radar backscattering behaviour for burned areas can hardly be given.

Single-Temporal Analysis

The VV polarised image of Greece showed higher post-disaster backscatter values over burned areas than the HH polarised image. The backscatter results of Greece (VV and HH) and La Palma (HH) are exemplified in Fig. 3. Although the VV polarisation, compared to the HH polarisation, showed differences in post-disaster backscatter values over fire affected and the remaining parts of the image, a burned area detection on a single-temporal data basis turned out to be too inaccurate.

The higher VV polarised backscatter values could be explained by the fact that vertical polarisation is more sensitive to vertically oriented objects than horizontal polarisation. The percentage of branches and foliage removed as well as the size and height of remaining branches and stems are important factors for variations in radar backscatter. In case the vegetation, primarily stems, is not completely destroyed through fire, the backscatter of vertical polarised waves interacts stronger with the remaining objects than HH polarised waves. This process is strengthened through the double bounce effect arising between stems and the ground.

Multi-Temporal Analysis

The image information given by the calculated difference, ratio and normalized change index was more or less equivalent. Thus, considering the rapid mapping workflow, just one technique was used for burned area mapping. The multi-temporal backscatter analysis was based on the image differencing change detection method. Therefore, the mean backscatter value of plots located in pre- and post-disaster images were compared (see Fig. 4). All post-disaster values were significantly higher than the pre-disaster values. This can be explained by a removal of tree crowns and foliage due to fire, and consequently an increase in backscatter levels due to missing ground vegetation resulting in an exposal of a rough ground sur-

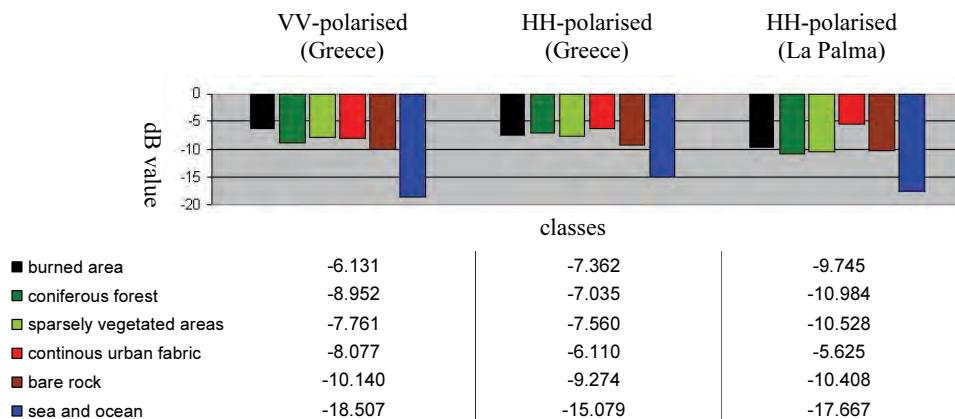


Fig. 3: Mean Backscatter values in TerraSAR-X post-disaster images.

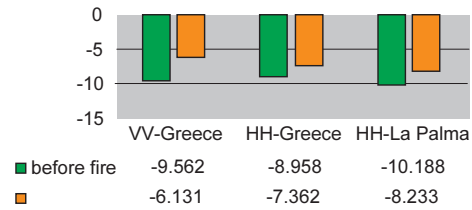


Fig. 4: Mean backscatter values in pre- and post-disaster images.

face. This means that the lack of canopy surface scattering in fire affected areas is more than outbalanced by a backscatter increase of the exposed ground surface. Hence, on the basis of a change detection approach, the burned area could be clearly distinguished in the TerraSAR-X images of Greece and La Palma. At both polarisations, the backscatter showed a clear increase over the burned area. However, the amplitude of backscatter changes due to the forest fire was higher in VV polarisation data than in HH polarisation data. The difference value of the VV polarised images showed a change of +3.431 dB whereas the HH polarised image showed a change of just +1.596 dB in Greece and +1.955 dB in La Palma. It should be considered that just one pair of VV

polarised images was available. Different study areas and a more comprehensive SAR data set could bring further results regarding this topic. The relative radiometric accuracy for TerraSAR-X products includes errors from calibration devices and from processing, and is expected to be 0.68 dB or 0.78 dB in worst case, and is thus much smaller than our detected change values (EINERD et al. 2006).

The object-based change detection approach achieved promising results for burned area mapping. A comparison to the previously classified burned area using SPOT 5 data showed that most parts of the burned area were well detected. Fig. 5 shows the SPOT 5 image of Greece, overlaid by the TerraSAR-X detected burned area (red). The burned area was clearly detected, with just some small unburned areas inside the burned area, and some small burned areas outside the main burned area which could not be identified. In order to determine the usefulness of SAR data as an alternative to traditional methods for forest fire mapping, the results of the change detection based classification were compared to the results obtained from the SPOT 5 classification in Greece. In order to minimise differing topographic effects, the burned area in the ascending and descending data pair was classi-

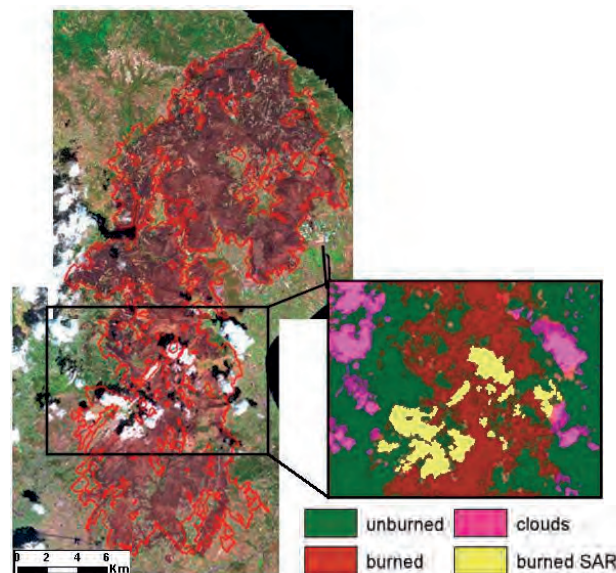


Fig. 5: Mapped burned area with TerraSAR-X (red); background shows a SPOT 5 image.

fied separately, and finally combined. The classification result achieved an overall accuracy of 77.9%. The combination of optical and radar data was used to take advance of both sensor types. Fig. 5 shows a detailed map of the final classification result consisting of a synergy of both remote sensing techniques. The green areas are classified as unburned, the objects in magenta are clouds, the red area is the burned area detected on the basis of the SPOT 5 image and the pink objects are areas which were classified as clouds or cloud shadows in the SPOT 5 image, but as burned areas in the TerraSAR-X image. Hence, the joint analysis of optical (high spatial accuracy) and microwave (penetration of clouds) data shows a great advance.

Another interesting aspect for the SAR-based burned area detection came up when further investigating the forest fire in La Palma. The fire affected areas showed a high difference in pre-disaster vegetation cover. Upper regions of the burned area were mostly covered with dense vegetation, primarily coniferous forest, whereas in lower regions, mainly sclerophyllous and sparse vegetation was prevalent before the fire. The pre-disaster vegetation type was determined using the CORINE land cover classification and intersected with the burned area detected using SPOT 5 and TerraSAR-X data (see Fig. 6). The results show that TerraSAR-X could mainly detect coniferous forests, whereas burned sclerophyllous vegetation could only be detected

using SPOT 5 data. This leads to the assumption that the pre-disaster vegetation density could act as limiting factor in forest fire mapping with X-band SAR data. In case fires occur in sparsely vegetated areas, the detection of the burned area extent could become difficult since only minor changes in radar backscatter occur.

5 Conclusion and Future Work

Within this work, a TerraSAR-X image processing methodology was developed to investigate the utility of X-band SAR data for burned area mapping in the European Mediterranean. A multi-temporal change detection approach based on image differencing was successfully used for mapping forest fires. The temporal variation in dual-polarised (HH and VV) backscatter coefficients was assessed. For both polarisations, the backscatter value increased significantly, whereas using VV polarisation, the absolute backscatter level was consistently higher for fire affected areas in comparison to HH polarised data. Burned area detection with X-band SAR data achieved remarkable results in a multi-temporal change detection approach, but delivered poor accuracies when using single-temporal data. Another aspect arised respective to the vegetation type existing before the fire. Sparse and lower growing vegetation types could probably limit the burned area mapping with X-band SAR data.

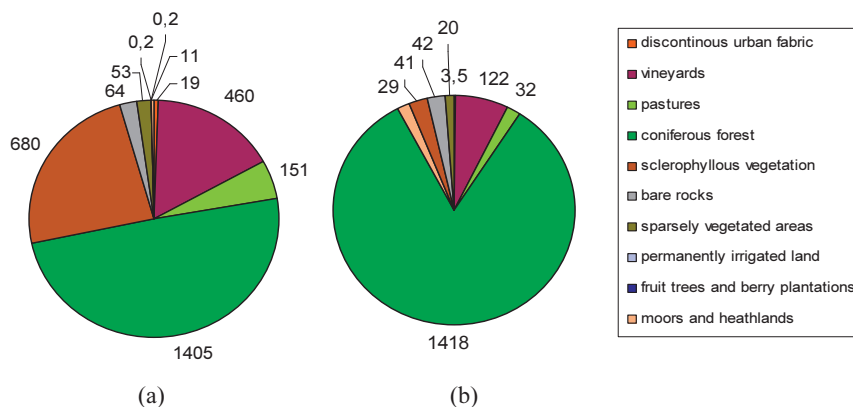


Fig. 6: Fire-affected vegetation in La Palma, mapped on the basis of SPOT 5 (a) and TerraSAR-X (b) data and CORINE, all numbers in hectares.

Remote sensing images required to detect forest fires must be both, temporally close and rich in details. These two conditions can only be satisfied if optical and radar data are used simultaneously. This work investigated a combination of optical and radar data. Further work should focus on a better data fusion of these two different remote sensing techniques and should include combined data from multiple satellites in order to improve the timeliness and accuracy of burned area mapping. Thus, future research will involve a further operationalisation of the TerraSAR-X based methodology, also in combination with other optical sensors.

Due to the fact that forest fires cause similar effects to vegetation like loss of crown foliage and branches, and the removal of understory layers, it is likely that similar results can be achieved in other Mediterranean regions. However, different trends may be observed in other environments such as boreal or tropical forests. Thus, a future research topic is the testing of the proposed methodology in other study areas.

References

- ATTEMA, E.P.W., DUCHOSSOIS, G. & KOHLHAMMER, G., 1998: ERS-1/2 SAR land applications: Overview and main Results. – IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium: 1796–1798.
- BOURGEAU-CHAVEZ, L., KASISCHKE, E. & FRENCH, N., 1995: The detection and interpretation of Alaskan fire-disturbed boreal forest ecosystems using ERS-1 SAR imagery. – IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium **2**: 1246–1248.
- BUCKREUSS, S. & SCHÄTTLER, B., 2010: The TerraSAR-X Ground Segment. – IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing **48** (2): 623–632.
- CHUVIECO, E., 2009: Global Impacts of Fire. – Earth Observation of Wildland Fires in Mediterranean Ecosystems: 1–11.
- EINER, M., FRITZ, T., MITTERMAYER, J., ROTH, A., BÖRNER, E. & BREIT, H., 2006: TerraSAR-X Ground Segment Basic Product Specification Document. – Cluster applied remote sensing, German Aerospace Center (DLR), Wessling.
- FRENCH, N., BOURGEAU-CHAVEZ, L., WANG, Y. & KASISCHKE, E., 1999: Initial observations of Radarsat imagery at fire-disturbed sites in interior Alaska. – Remote Sensing of Environment **68**: 89–94.
- GIMENO, M. & AYANZ, J., 2004: Evaluation of Radarsat-1 data for identification of burnt areas in southern Europe. – Remote Sensing of Environment **104**: 346–359.
- GIMENO, M., SAN-MIGUEL-AYANZ, J. & SCHMUCK, G., 2004: Identification of burnt areas in Mediterranean forest environments from ERS-2 SAR time series. – International Journal of Remote Sensing **25** (22): 4873–4888.
- JUSTICE, C.C. & KORONZTI, S., 2001: A review of the status of satellite fire monitoring and the requirements for global environmental change research. – Global and regional vegetation fire monitoring from space: planning a coordinated international effort: 1–19.
- KARSZENBAUM, H., TIFFENBERG, J., GRINGS, F., MARINEZ, J., KANDUS, P. & PRATOLONGO, P., 2003: A SAR time series analysis toolbox for extracting fire affected areas in wetlands. – IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium **6**: 4107–4109.
- KASISCHKE, E., BOURGEAU-CHAVEZ, L., FRENCH, N., HARRELL, P. & CHRISTENSEN, N., 1992: Initial observations on using SAR to monitor wildfire scars in boreal forests. – International Journal of Remote Sensing **13** (18): 3495–3501.
- LILLESAND, T.M., KIEFER, R.W. & CHIPMAN, J.W., 2004: Remote Sensing and image interpretation. – 5th edition, Hoboken.
- LU, D., MAUSEL, P., BRONDIZIO, E. & MORAN, E., 2004: Change Detection techniques. – International Journal of Remote Sensing **25** (12): 2365–2407.
- MENGES, C., BARTOLO, R., BELL, D. & HILL, G., 2004: The effect of savanna fires on SAR backscatter in northern Australia. – International Journal of Remote Sensing **25** (22): 3857–4871.
- NAKAYAMA, M. & SIEGERT, F., 2001: Comparative study on C and L band SAR for fire scar monitoring. – 22nd Asian conference on Remote Sensing.
- PITZ, W. & MILLER, D., 2010: The TerraSAR-X Satellite. – IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing **48** (2): 615–622.
- RANSON, K.J., KOVACS, K., SUN, G. & KHARUK, V.I., 2001: Fire scar detection using JERS, ERS, and Radarsat data in the Boguchany area. – Eastern Siberia, CEOS-SAR01-073.
- SIEGERT, F. & RÜCKER, G., 2000: Use of multitemporal ERS-2 SAR images for identification of burned scars in south-east Asian tropical rainforest. – International Journal of Remote Sensing **21** (4): 831–837.
- TANASE, M., PÉREZ-CABELLO F., RIVA, J. & SANTORO, M., 2010: TerraSAR-X data for burn severity evaluation in Mediterranean forests on sloped terrain. – IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing **48** (2) 917–929.

Address of the Authors:

EVA-MARIA BERNHARD, ANDRÉ TWELE, MONIKA GÄHLER, German Aerospace Center (DLR), German Remote Sensing Data Center (DFD), D-82234 Oberpfaffenhofen, Tel.: +49-8153-28-2481, -3510, -3309, Fax: -1445, e-mail: Eva-Maria.Bernhard@dlr.de, Andre.Twele@dlr.de, Monika.Gaehler@dlr.de

Manuskript eingereicht: Februar 2011

Angenommen: Mai 2011



A Probability Model-based Method for Land Cover Change Detection Using Multi-Spectral Remotely Sensed Images

WENZHONG SHI, Hongkong, China & HAIYONG DING, Nanjing, China

Keywords: Change Detection, Chi-square Distribution, Remote Sensing, Image Differencing, Tasseled Cap Transformation

Summary: Change detection is one of the main research areas in remotely sensed image processing. Image differencing methods have been widely used to quantify changed pixels by labeling such pixels with differencing images. There is room, however, to further develop the approach by enhancing the change detection reliability method by reducing the index sensitivity to seasonal variations. Using the information provided by image differencing results, a probability model-based change detection method is proposed in this study. A Chi-square distribution model is built using multiple index images based on the assumption that the pixels in the differencing image follow a normal distribution. By means of Chi-square distribution percentiles, different probability contours can be found to differentiate the changed pixels from all pixels in the feature space. The pixels located outside the probability contour will then, be identified as the changed pixels with a certain probability level. Tasseled Cap transformation components can be utilized to construct the Chi-square distribution, thus obtaining a higher accuracy of change detection. Due to the availability of multiple index images such as NDVI and Tasseled Cap transformation components, ETM+ images of Hong Kong on Aug. 20, 1999 and Sep. 17, 2002 were used as experimental data to test the performance of the proposed method. The experiments showed that the combination of NDVI and Brightness indices produced the highest overall accuracy and Kappa coefficient values.

Zusammenfassung: Ein wahrscheinlichkeits- und modellbasiertes Verfahren zur Veränderungsanalyse der Landnutzung durch Nutzung multi-spektraler Fernerkundungsdaten. Die Veränderungsanalyse (Change Detection) ist ein sehr wichtiges Forschungsfeld in der fernerkundlichen Bildverarbeitung. Zwar sind Change Detection Methoden in der Vergangenheit schon häufig benutzt worden, um Veränderungen kenntlich zu machen, allerdings gibt es immer noch Potential zur Verbesserung der Methoden insbesondere zu deren Zuverlässigkeit gegenüber saisonalen Schwankungen der Landnutzung. In diesem Artikel wird ein wahrscheinlichkeits- und modellbasiertes Verfahren zur Veränderungsanalyse vorgestellt. Hierzu wird ein Chi-Quadrat-Verteilungsmodell durch die Nutzung multipler Indexbilder erstellt mit der grundsätzlichen Annahme, dass die Pixel in den zu untersuchenden Bildern der Normalverteilung folgen. Durch die Nutzung des Perzentilwertes der Chi-Quadrat-Verteilung können unterschiedliche Wahrscheinlichkeitskonturen gefunden werden, um die veränderten Pixel von allen anderen Pixeln mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit im Merkmalsraum zu unterscheiden. Die Tasseled Cap Transformation sollte verwendet werden, um die Chi-Quadrat-Verteilung zu konstruieren, so dass man eine höhere Genauigkeit zur Erkennung von Änderungen erhält. Die Leistungsfähigkeit der vorgestellten Methode wurde durch eine Vielzahl von verschiedenen Index-Bildern, wie z. B. den NDVI und die Tasseled Cap Transformation, und ETM-Bildern von Hongkong vom 20. August 1999 und 17. September 2002 getestet. Die Analysen zeigen, dass die Kombination von NDVI- und Brightness-Indizes die höchste Gesamtgenauigkeit und den besten Kappa Koeffizient ergeben.

1 Introduction

Remotely sensed images have been extensively utilized to monitor and analyze Earth surface changes over time (HANSEN et al. 2008, HILKER et al. 2009, KAUFMANN & SETO 2001, BAYARSAIKHAN et al. 2009, PHUA et al. 2008). Change detection is a commonly used method for providing change information. Normally detected are (a) the geographic locations of changes, (b) the types of changes, and (c) the number of changes, by analyzing two co-registered remote sensed images taken at different time. These images relate to a particular geographical area on two different occasions (CASTELLANA et al. 2007, IM & JENSEN 2005, CAKIR et al. 2006, GAO & LIU 2010, OUMA et al. 2008). Change detection has been widely used for mapping land cover modification, deforestation assessment, damage assessment, disaster monitoring and urban expansion (YUAN et al. 2005, DEWAN & YAMAGUCHI 2009, WULDER et al. 2008).

Over the past three decades, many change detection methods, using remotely sensed images have been proposed and reported in the literature (HANSEN et al. 2008, WALTER 2004, PHUA et al. 2009, XIAN et al. 2009, DENG et al. 2009, GALFORD et al. 2008, HILKER et al. 2009). Generally, these change detection methods can be grouped into two classes: supervised classification-based methods and unsupervised classification-based methods.

Supervised classification-based change detection methods utilize field samples as “true” ground for training the classifier, which will be used to label all other elements in the image. By comparing the classification results at different time, the changed pixels can be identified and quantified. IM and JENSEN (IM & JENSEN 2005) introduced a Neighborhood Correlation Image method, a method, which combined with the decision trees change detection method, can detect change with high accuracy. One of the supervised classification algorithms, support vector machines (SVMs) have been successfully applied to remote sensing image classification (MELGANI & BRUZZONE 2002). NEMMOUR & CHIBANI (2006) proposed an integration of SVMs and Fuzzy Integrals for change detection. This integration proved to have greater efficiency than the neural net-

works based method. KNORN et al. (2009) applied the SVMs algorithm to classify radiometrically uncorrected data to test a proposed chain classification method.

Unsupervised methods have been used for change detection when “true” ground is lacking because only old remote sensing images are available. By comparing the brightness difference between pre- and post-index images using methods such as image differencing, image rationing and change vector analysis, areas of changed pixels can be quantified (CASTELLANA et al. 2007). Image differencing can be used to identify changed pixels from those pixels with a given threshold value. For instances, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) has commonly been used as the index image for image differencing purposes. Values of difference of NDVI are assumed to be normally distributed with a zero mean and standard deviation, and pixels with absolute values of difference of NDVI greater than the threshold value are identified as changed pixels (TENG et al. 2008). Other indices have also been used in image differencing, for example Tasseled Cap transformation components. Usually, an index image is selected for its sensitivity to a surface property. Using one single index image for image differencing, therefore, will not sufficiently represent land cover change, based on multi-temporal satellite images.

In this paper a probability image differencing model using multiple feature images is proposed. Components of a Tasseled Cap transformation at different time are used as feature images for constructing the probability model. Specifically, in this paper (a) a new change detection method is presented based on the Chi-square distribution probability model; and (b) the performance of a proposed method for change detection is assessed, based on remotely sensed images.

The outline of this paper is as follows. An introduction and a review and analysis of the methods of change detection are given briefly in this section. The study area and the remote sensed images used for this research are presented in Section 2. Section 3 is devoted to introducing the proposed probability model for change detection using image differencing results. The results of several numerical ex-

periments are presented and discussed in Section 4. Finally, conclusions concerning the effectiveness of the newly proposed change detection model and algorithm are presented in Section 5.

2 Study Area and Data

Hong Kong, an international financial metropolis which has experienced quick economic growth and urban expansion over the past three decades, was selected as the study area. Hong Kong had reportedly, 6.41 million people and a 122.9 billion GDP (gross domestic product) in 1996. These numbers had increased to 6.70 million people and 129.9 billion GDP by 2001. In 2006, there were 6.86 million people with a 147.5 billion GDP. The population increases and economic growth resulted in expansion of the urban area and a corresponding conversion of land cover type. The study area is illustrated in Fig. 1.

ETM+ images have been extensively used for change detection research over the past two decades, primarily because they are free-of-charge and easy to process. In this research, ETM+ images obtained on Aug. 20, 1999 and Sep. 17, 2002 were used as the experimental source data. Radio calibration should be performed to convert the DN value to the reflectance value. Image registration was then performed using a registration model for which the earlier image was used as the base image. However, for the historical remote sensing



Fig. 1: The study area – Hong Kong. R: band 5; G: band 4; B: band 3 (Date of data captured: Feb. 17, 2002).

data, it is difficult to obtain the ground truth parameters such as visibility and aerosol scale height, which are needed by the radiance transfer algorithm. The quality of image after atmospheric calibration may be degraded due to the uncertainty in these parameters. Therefore, to compare the two images taken at different times, normalization was made to convert the digital number of the images into the range zero to one to reduce the brightness difference among these images. Sub-images of the same region were clipped to be used, here, for assessing the performance of the proposed algorithm. A SPOT image, with a higher spatial resolution, taken in 2003, provided the reference data.

3 Probability Model-based Change Detection Methods

3.1 Probability Model

The image differencing results derived from multi-temporal index images represent the spatial distribution of both the changed and unchanged pixels. A single index image, such as NDVI, can provide partial change information over the study area. However, if more index images could be used in the image differencing method: greater change detection accuracy can potentially be obtained.

For multiple index images, the probability distribution of pixels in each image differencing result can be assumed to follow a normal distribution. This can easily be verified by numerical experiments. If the difference value for each different index pixel is represented by a random vector $x = [x_1, x_2, \dots, x_l]^T$ in which x_i is the difference value derived from the pre- and post- index images, the probability density function of the random vector x can then be expressed as

$$p(x) = \frac{1}{2\pi^{l/2} |\Sigma|^{1/2}} e^{-\frac{1}{2}[(x-\mu)^T \Sigma^{-1}(x-\mu)]} \sqrt{2} \quad (1)$$

where $\mu = [E(x_1), E(x_2), \dots, E(x_l)]^T$ is the expectation of the random vector, and l is the number of index images; Σ is the covariance matrix of the random vector. The covariance matrix Σ reflects the correlation relationships between

different index images. This function was used by TENG et al. (2008) to express the joint distribution of random variables, where x_1 and x_2 were used to represent the corresponding values of pre- and post-images. The covariance matrix Σ can be factorized as

$$\Sigma = Q^T \Lambda Q \quad (2)$$

where Q is the orthogonal matrix which is composed using the orthogonal vectors of $\Sigma^T \Sigma$ and Λ is a diagonal matrix composed of the eigenvalues of $\Sigma^T \Sigma$. The probability contour of the x^2 variable can be rewritten as

$$(Qx - Q\mu)^T \Lambda^{-1} (Qx - Q\mu) = c \quad (3)$$

Letting $x' = Qx$, the formula has the following expression

$$\frac{(x'_1 - \mu'_1)^2}{\lambda_1} + \frac{(x'_2 - \mu'_2)^2}{\lambda_2} + \dots + \frac{(x'_l - \mu'_l)^2}{\lambda_l} = c \quad (4)$$

where λ_i is the diagonal elements of matrix Λ . It is found that two random variables correspond to an oval on plan while three random variables correspond to an ellipsoid in three-dimensional space. When there is only one index image, the normal distribution can be used to delineate the spatial distribution of each pixel in the differencing image.

The parameter c represents the range of the probability contour. Those pixels inside the contour can be seen as unchanged pixels. The pixels with substantial change can be identified with a pre-determined probability α . The unchanged pixels can therefore be labeled using the significance level $100(1-\alpha)\%$, i.e.,

$$p \{ (x - \mu)^T \Sigma^{-1} (x - \mu) < \chi^2_{\alpha} \} = 1 - \alpha \quad (5)$$

TENG et al. (2008) assumed that the distributions of pixels in the pre- and post- index images were normal distribution. It was pointed out that the expectation and covariance matrix parameters used in the bivariate joint normal distribution function must be estimated from those unchanged pixels derived from the post-classification comparison method. The logic flow of the proposed method is given in Fig. 2 below.

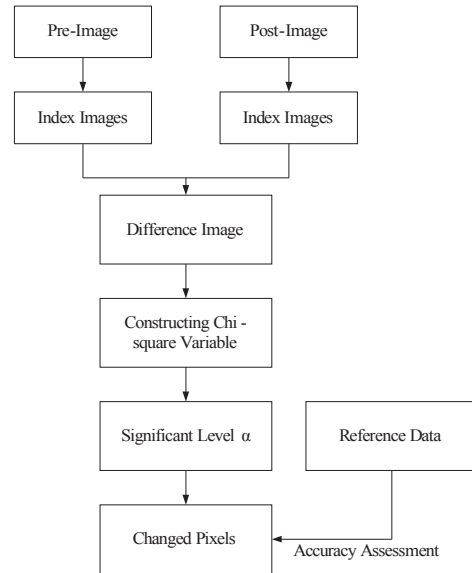


Fig. 2: The logic flow of the newly proposed algorithm.

This newly proposed algorithm has several advantages over the method provided by TENG et al. (2008). Firstly, the probability contour is constructed using differencing results derived from multi-temporal index images which boost the grey value contrast between changed pixels and unchanged pixels. Secondly, multiple index images rather than a single index image are used in the probability model for change detection. Therefore, more data sources, such as soil brightness, area of vegetation cover, water content of vegetation can all be used to reflect land cover changes. Thirdly, many possible combinations of the index images can be tested leading to much more accurate change detection results.

3.2 Index Images

The normalized difference vegetation index (NDVI) has been extensively used for extracting areas of vegetation cover and also for change detection. In addition to NDVI, Tasseled Cap transformation components can also be utilized to detect land cover changes, as discussed briefly immediately below.

The first three Tasseled Cap transformation indices of Brightness Index (BI), Greenness Index (GI) and Wetness Index (WI), have successively been used for change detection after these indices were first proposed. They were further modified over the past two decades (CRIST & CICONE 1984, HUANG et al. 2002). The BGW bands are directly associated with physical attributes reflecting land surface properties (SETO et al. 2002). SKAKUN et al. (2003) utilized the enhanced wetness TCT difference index to interpret spectral patterns with confirmed red-attack damage. KARNIELI et al. (2008) found that BI proved to be the best spectral transformation for enhancing the contrast between the bright-degraded areas and the darker surrounding areas. Due to its excellent performance in change detection, the TCT indices proposed by HUANG et al. (2002) were used here as index images for change detection. The TCT are given as follows. The RGB false color images using BI, GI, and WI are shown in Fig. 3.

4 Results and Discussion

From the visually interpreted results of the false color images applied at different times, 1695 changed pixels and 3122 unchanged pixels were selected from the original image as the samples to be used to assess the performance of the proposed algorithm. Results from the image differencing method and TENG's bivariate joint distribution method were used to make comparisons with the proposed method. In the first experiment, change detection results were provided using different single index images for both methods. In the second experiment and based on the results of the first experiment, two-index and three-index models demonstrated the advantages of the newly proposed method.

4.1 Single Index Image-based Change Detection

In the first experiment, an image differencing method using NDVI and the Tasseled Cap

$$BI = 0.3561 \cdot b_1 + 0.3972 \cdot b_2 + 0.3904 \cdot b_3 + 0.6966 \cdot b_4 + 0.2286 \cdot b_5 + 0.1596 \cdot b_7 \quad (6a)$$

$$GI = -0.3344 \cdot b_1 - 0.3544 \cdot b_2 - 0.4556 \cdot b_3 + 0.6966 \cdot b_4 - 0.0242 \cdot b_5 - 0.2630 \cdot b_7 \quad (6b)$$

$$WI = 0.2626 \cdot b_1 + 0.2141 \cdot b_2 + 0.0926 \cdot b_3 + 0.0656 \cdot b_4 - 0.7629 \cdot b_5 - 0.5388 \cdot b_7 \quad (6c)$$

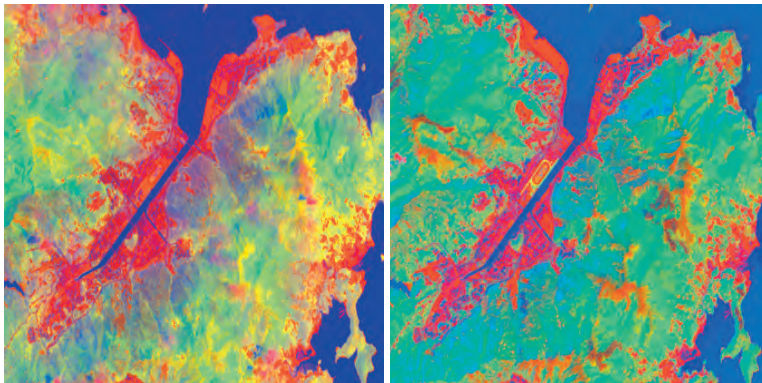


Fig. 3: False color image using Tasseled Cap Transformation (R: Brightness; G: Greenness; B: Wetness. Left: Aug. 20, 1999, Right: Feb. 17, 2002).

transformation index was applied to detect changed pixels. The results were generated when the threshold value was set as 1.96 which corresponds to significance level 0.05. We found that NDVI and the Greenness index successfully reflect the changes in vegetation cover over different seasons, but fail to detect the changes to buildings and impervious surfaces near the seaside. The latter can in fact, be detected by the brightness index and the wetness index. However, the brightness and wetness indices failed to detect vegetation cover changes.

To give a quantitative picture of the above change detection results, statistical data are given in Tab.1 for three different threshold values. The best result appears when NDVI is used as the index image with a threshold value of 1.645. The overall accuracy is 83.37 and the Kappa coefficient, 0.6124. The Brightness index leads to less overall accuracy due to its failure to detect most of the vegetation cover changes. The Greenness index and the wetness index lead to worse change detection results and lower accuracy and Kappa coefficients.

TENG's bivariate joint distribution method was applied to change detection using NDVI and different index images derived from TCT,

and the detection results with significance level 0.05 was generated. The statistical results are given in Tab.2. When NDVI is used as an image index not only vegetation pixels but also most seawater pixels were identified as changed pixels. The TCT Wetness index also identified seawater pixels as changed pixels, but failed to find any vegetation cover region changes. According to Tab.2, the Brightness index leads to greater overall change detection accuracy than the other three index images. The Brightness index, however fails to detect the changes in vegetation cover which are detected using the NDVI and Greenness index images.

4.2 Change Detection Results of the Proposed Method Using Combination of Index Images

Use of the single index image can reflect one type of land cover change such as vegetation cover, as verified by the experiment in Section 4.1. In contrast to the single index-based method, in the following experiments, the use of combinations of two different index images: NDVI and Brightness were used in the proposed probability model for change detection.

Tab. 1: Statistical results of image difference method using different index images.

	2.575 ($\alpha = 0.01$)		1.96 ($\alpha = 0.05$)		1.645 ($\alpha = 0.1$)	
	Kappa	Over. Acc(%)	Kappa	Over. Acc(%)	Kappa	Over. Acc(%)
NDVI	0.4209	77.45	0.5734	82.52	0.6124	83.37
Brightness	0.2539	71.53	0.3268	73.67	0.4057	76.16
Greenness	-0.0193	63.83	-0.0363	62.83	-0.0421	62.09
Wetness	0.1961	70.20	0.1946	69.91	0.1959	69.87

Tab. 2: Statistical results from TENG's bivariate joint distribution method which uses different index images with different significant levels.

	$\alpha = 0.01$		$\alpha = 0.05$		$\alpha = 0.1$	
	Kappa	Over. Acc(%)	Kappa	Over. Acc(%)	Kappa	Over. Acc(%)
NDVI	0.3508	70.23	0.3729	69.52	0.3549	67.32
Brightness	0.3331	73.61	0.4172	76.04	0.3488	71.47
Greenness	-0.0450	61.67	-0.0216	60.88	-0.0157	60.51
Wetness	-0.0611	55.67	-0.0611	55.67	-0.0611	55.67

The change detection results at different significance levels are shown in Fig. 4 and the accuracy assessment is listed in Tab. 3.

It is found that the change detection results are sensitive to significance level: more and more changed pixels can be detected by increasing the level of α . However, the overall accuracy and Kappa coefficients decrease quickly with an increase of α . When the significance level is 0.01, among all the experi-

ments, the change detection results have the highest overall accuracy of 92.60% and the highest Kappa coefficient of 0.8326.

By combining NDVI, Brightness and Wetness indexes, the change detection results at different significance levels are shown in Fig. 5 and the statistical results are shown in Tab. 3. It is found that with increase of significance level α , more and more seawater pixels are identified as changed pixels, which in fact, is

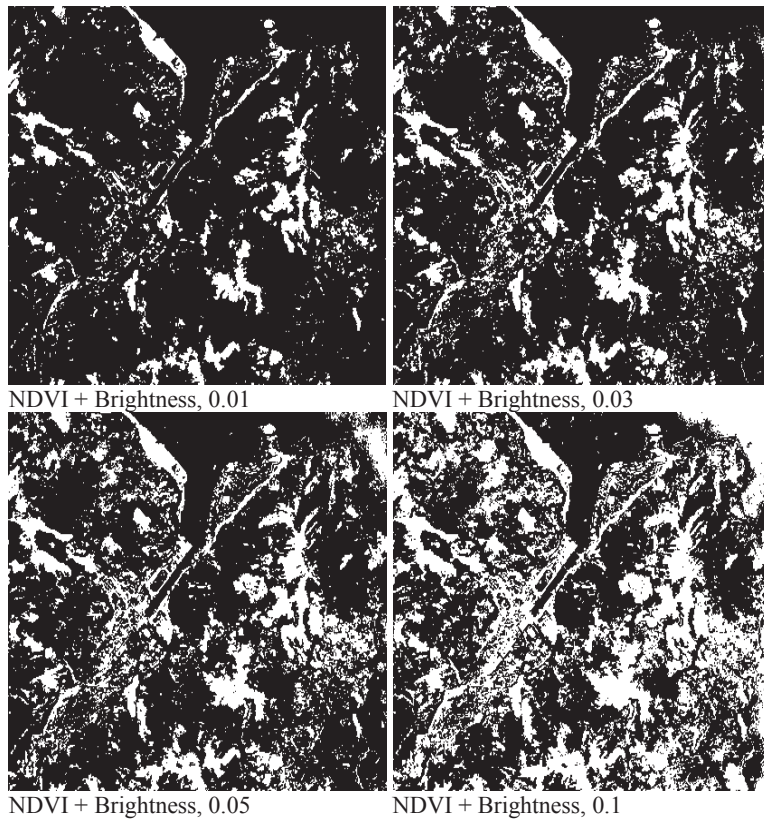


Fig. 4: Change Detection Results Using NDVI and Brightness indexes by using the probability model at different probability level.

Tab. 3: Statistical results of change detection using the combinations of two index images at different significant level.

	$\alpha = 0.01$		$\alpha = 0.03$		$\alpha = 0.05$		$\alpha = 0.1$	
	Kappa	Over. Acc(%)	Kappa	Over. Acc(%)	Kappa	Over. Acc(%)	Kappa	Over. Acc(%)
NDVI + Brightness	0.8362	92.60	0.8175	91.53	0.7710	89.16	0.6129	80.61
NDVI + Brightness +Wetness	0.7392	87.83	0.5929	79.65	0.5241	75.52	0.4196	68.90

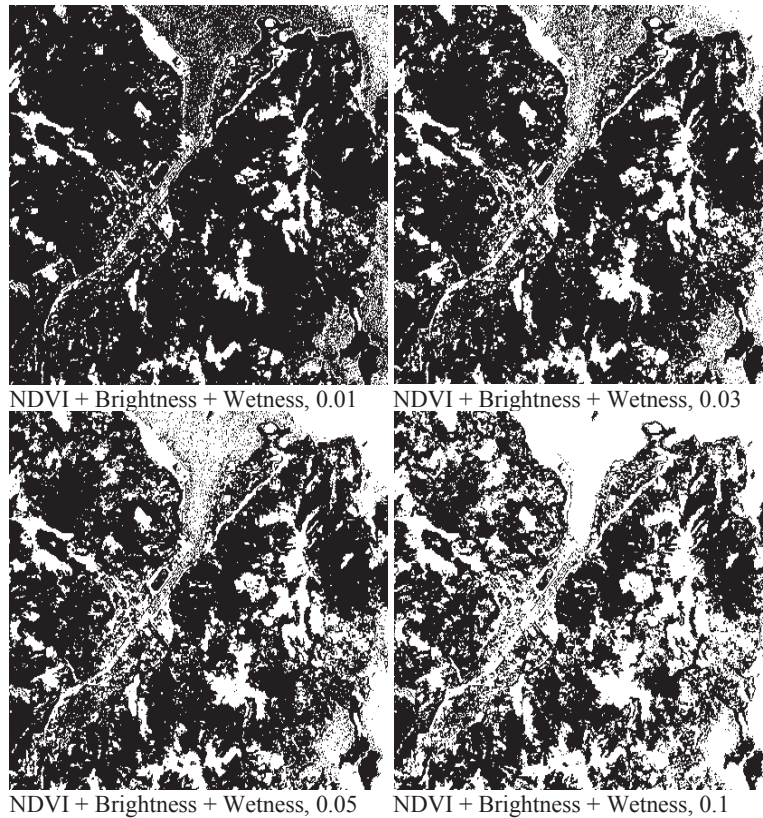


Fig. 5: Change Detection Results Using NDVI, Brightness and Wetness indexes by using the probability model at different probability level.

wrong. When $\alpha = 0.01$ the overall accuracy has the value of 87.83 and the Kappa coefficient has the value of 0.7392. However, the overall accuracy and Kappa coefficients decrease with increases in the significance level.

5 Conclusions

A new change detection method, i.e., a probability model based on the Chi-square distribution and using multiple index images, has been proposed. The newly proposed method was tested using Landsat ETM+ multi-temporal images. Image differencing method, based on a selected single index image, has been used extensively to quantify how areas change over time using remotely sensed images. The index image is usually sensitive to land surface properties such as vegetation cover and soil

moisture, which make it difficult to precisely identify changed pixels. In addition, some indices are sensitive to the change of seasons; such changes also reduced the robustness of the image differencing method.

Based on the assumption that the distribution of pixels in an image differencing result conforms to a normal distribution, as has been observed in most cases, the authors have proposed the probability model based change detection method which utilizes multiple index images, derived using the image differencing method. Changed pixels displayed distinctive gray differences between the pre- and post-images enabling their identification with a particular probability. Multi-variables joint chi-square distributions derived from the difference images using multiple indexes remarkably boosted the contrast between changed pixels and unchanged pixels.

Compared with the image difference method and TENG's bivariate joint distribution method, the newly proposed method has the advantages of: (a) providing more accurate change detection results, (b) providing possible different index image combination options leading to optimal change detection results, and (c) providing different models for different types of land cover change detection purposes.

Acknowledgments

The work presented in this paper is support by The Hong Kong Polytechnic University (Project No. G-YX0P, G-YF24, G-YG66, 1-ZV4F) and Hong Kong RGC General Research Fund (Project No. 276/08E). The authors would like to thank the anonymous reviewers for their valuable comments to this paper.

References

- BAYARSAIKHAN, U., BOLDGIV, B., KIM, K.R., PARK, K.A. & LEE, D., 2009: Change Detection and Classification of Land Cover at Hustai National Park in Mongolia. – *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* **11**: 273–280.
- CAKIR, H.I., KHORRAM, S. & NELSON, S.A.C., 2006: Correspondence Analysis for Detecting Land Cover Change. – *Remote Sensing of Environment* **102**: 306–317.
- CASTELLANA, L., D'ADDABBO, A. & PASQUARIELLO, G., 2007: A Composed Supervised/Unsupervised Approach to Improve Change Detection from Remote Sensing. – *Pattern Recognition Letters* **28**: 405–413.
- CRIST, E.P. & CICONE, R.C., 1984: A Physically-Based Transformation of Thematic Mapper Data – The TM Tasseled Cap. – *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* **22**: 256–263.
- DENG, J.S., WANG, K., LI, J. & DENG, Y.H., 2009: Urban Land Use Change Detection Using Multi-sensory Satellite Images. – *Pedosphere* **19** (1): 96–103.
- DEWAN, A.M. & YAMAGUCHI, Y., 2009: Land Use and Land Cover Change in Greater Dhaka, Bangladesh: Using Remote Sensing To Promote Sustainable Urbanization. – *Applied Geography* **29**: 390–401.
- GALFORD, G.L., MUSTARD, J.F., MELILLO, J., GENDRIN, A., CERRI, C.C. & CERRI, C.E.P., 2008: Wavelet Analysis of MODIS Time Series to Detect Expansion and Intensification of Row Crop Agriculture in Brazil. – *Remote Sensing of Environment* **112**: 576–587.
- GAMANYA, R., MAEYER, P.D. & DAPPER, M.D., 2009: Object-Based Change Detection for the City of Harare, Zimbabwe. – *Expert Systems with Applications* **36**: 571–588.
- GAO, J. & LIU, Y., 2010: Determination of Land Degradation Causes in Tongyu County, Northeast China via Land Cover Change Detection. – *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* **12**: 9–16.
- HANSEN, H.C., ROY, D.P., LINDQUIST, E. & ADUSEI, B., 2008: A Method for Integrating MODIS and Landsat Data for Systematic Monitoring of Forest Cover and Change in the Congo Basin. – *Remote Sensing of Environment* **112**: 2495–2513.
- HILKER, T., WULDER, M.A., COOPS, N.C., LINKE, J., McDERMID, G., MASEK, J.G., GAO, F. & WHITE, J., 2009: A New Data Fusion Model for High Spatial and Temporal Resolution Mapping of Forest Disturbance Based on Landsat and MODIS. – *Remote Sensing of Environment* **113**: 1613–1627.
- HUANG, C., WYLIE, B., YANG, L., HOMER, C. & ZYLSTRA, G., 2002: Derivation of a Tasseled Cap Transformation Based on Landsat 7 at-Satellite Reflectance. – *International Journal of Remote Sensing* **23**: 1741–1748.
- IM, J. & JENSEN, J.R., 2005: A Change Detection Model Based on Neighborhood Correlation Image Analysis and Decision Tree Classification. – *Remote Sensing of Environment* **99**: 326–340.
- KARNIELI, A., GILAD, U., PONZET, M., SVORAY, T., MIRZADINOV, R. & FEDORINA, O., 2008: Assessing Land-Cover Change and Degradation in the Central Asian Deserts Using Satellite Image Processing and Geostatistical Methods. – *Journal of Arid Environments* **72**: 2093–2105.
- KAUFMANN, R.K. & SETO, K.C., 2001: Change Detection, Accuracy, and Bias in a Sequential Analysis of Landsat Imagery in the Pearl River Delta, China: Econometric Techniques. – *Agriculture, Ecosystems and Environment* **85**: 95–105.
- MELGANI, F. & BRUZZONE, L., 2002: Support Vector Machines for Classification of Hyper-Spectral Data. – *International Geoscience and Remote Sensing Symposium*: 813–815.
- KNORN, J., RABE, A., RADELOFF, V.C., KUEMMERLE, T., KOZAK, J. & HOSTERT, P., 2009: Land Cover Mapping of Large Areas Using Chain Classification of Neighboring Landsat Satellite Images. – *Remote Sensing of Environment* **113**: 957–964.

- NEMMOUR, H. & CHIBANI, Y., 2006: Multiple Support Vector Machines for Land Cover Change Detection: an Application for Mapping Urban Extensions. – *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* **61**: 125–133.
- OUMA, Y.O., JOSAPHAT, S.S. & TATEISHI, R., 2008: Multiscale Remote Sensing Data Segmentation and Post-Segmentation Change Detection Based on Logical Modeling: Theoretical Exposition and Experimental Results for Forestland Cover Change Analysis. – *Computers & Geosciences* **34**: 715–737.
- PHUA, M.H., TSUYUKI, S., FURUYA, N. & LEE, J.S., 2008: Detecting Deforestation with a Spectral Change Detection Approach Using Multitemporal Landsat Data: a Case Study of Kinabalu Park, Sabah, Malaysia. – *Journal of Environmental Management* **88**: 784–795.
- SETO, K.C., WOODCOCK, C.E., SONG, C., HUANG, X., LU, J. & KAUFMANN, R.K., 2002: Monitoring Land-Use Change in the Pearl River Delta Using Landsat TM. – *International Journal of Remote Sensing* **23** (10): 1985–2004.
- SKAKUN, R.S., WULDER, M.A. & FRANKLIN, S.E., 2003: Sensitivity of the Thematic Mapper Enhanced Wetness Difference Index to Detect Mountain Pine Beetle Red-Attack Damage. – *Remote Sensing of Environment* **86**: 433–443.
- TENG, S.P., CHEN, Y.K., CHENG, K.S. & LO, H.C., 2008: Hypothesis-Test-Based Land Cover Change Detection Using Multi-Temporal Satellite Images – a Comparative Study. – *Advances in Space Research* **41**: 1744–1754.
- WALTER, V., 2004: Object-Based Classification of Remote Sensing Data for Change Detection. – *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* **58**: 225–238.
- WULDER, M.A., WHITE, J.C., COOPS, N.C. & BUTSON, C.R., 2008: Multi-Temporal Analysis of High Spatial Resolution Imagery for Disturbance Monitoring. – *Remote Sensing of Environment* **112**: 2729–2740.
- XIAN, G., HOMER, C. & FRY, J., 2009: Updating the 2001 National Land Cover Database Land Cover Classification to 2006 by Using Landsat Imagery Change Detection Methods. – *Remote Sensing of Environment* **113**: 1133–1147.
- YUAN, F., SAWAYA, K., LOEFFELHOLZ, B.C. & BAUER, M.E., 2005: Land Cover Classification and Change Detection of the Twin Cities (Minnesota) Metropolitan Area by Multi-Temporal Landsat Remote Sensing. – *Remote Sensing of Environment* **98**: 317–328.

Addresses of the Authors:

Prof. Dr. WENZHONG SHI, Department of Land Surveying and Geo-informatics, The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, P.R. China, e-mail: lswzshi@polyu.edu.hk

Dr. HAIYONG DING, School of Remote Sensing, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, P.R. China, e-mail: hyong.ding@gmail.com

Manuskript eingereicht: März 2011

Angenommen: Mai 2011

31. Wissenschaftlich-Technische DGPF-Jahrestagung 2011

Bericht zur 31. Wissenschaftlich-Technischen Jahrestagung der DGPF vom 13.–15. April 2011 an der Fachhochschule Mainz

Die diesjährige Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF stand unter dem Motto *Geodaten – eine Ressource des 21. Jahrhunderts*. Die lokale Vorbereitung und Unterstützung der Tagung wurde von Prof. Dr. F. BOOCHS und seinem Team der FH Mainz übernommen. Auf diesem Weg bedanken sich alle Teilnehmer der Jahrestagung nochmals ganz herzlich für die perfekt vorbereitete Tagung und das Exkursions- und Rahmenprogramm.

Exkursionen und Rahmenprogramm

Von den lokalen Organisatoren waren für den 13. April Exkursionen zum Opel-Werk in Rüsselsheim, zum Flughafen Frankfurt und zur Firma Schott AG angeboten worden. Am 15.4. bestand die Möglichkeit einer speziellen Führung durch den Mainzer Dom und die individuelle Besichtigung des Gutenberg-Museums für Buchdruck und Schriftgeschichte. Beim zwanglosen Vorabendtreffen im Eisgrub-Bräu konnte im typischen Brauerei-Ambiente ebenso gut gefachsimpelt werden wie auf der Abendveranstaltung am 14. April im Proviant-Magazin „Fastnachtsstube“.

Eröffnungsveranstaltung am 14. April 2011

Die Präsidentin der DGPF, Prof. Dr. C. GLÄSSER bedankte sich bei den lokalen Organisatoren für die perfekte Vorbereitung und wünschte allen Teilnehmern eine erfolgreiche Tagung. Der Präsident der FH Mainz, Prof. Dr. G. MUTH, drückte seine Freude aus, dass die DGPF ihre Jahrestagung an der FH in Mainz durchführt und wünschte den Firmen, Gästen und Teilnehmern eine erfolgreiche Zeit in Mainz.

Die Verleihung des Hansa-Luftbild-Preises 2011 wurde von Dr. P. HARTFIEL vorgenommen. Der Preis wurde verliehen für die in Heft 6/2010 der Zeitschrift PFG veröffentlichte Arbeit „*A General Framework for Fast and Interactive Classification of Optical VHR Satel-*

lite Imagery Using Hierarchical and Planar Markov Random Fields“. JENS KERSTEN nahm stellvertretend für die Mitautoren Dr. MONIKA GAehler und Dr. STEFAN VOIGT den Preis entgegen.

Im Rahmen der Eröffnungsveranstaltung wurden die Preisträger des Karl-Kraus-Nachwuchsförderpreises für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation vorgestellt. Der Preis wurde wieder gemeinsam von der schweizerischen SGPF, der österreichischen OVG und der DGPF verliehen. Dr. G. GRENZDÖRFFER moderierte die Verleihung und übergab die Urkunden und die Schecks an die Preisträger. Nähere Einzelheiten hierzu sind im Bericht von Dr. GRENZDÖRFFER in diesem Heft auf den Seiten 283–284 zu finden.

In seinem Plenarvortrag mit dem Titel „*Wunsch und Wirklichkeit des deutschen Geo-Business*“ informierte Dr. J. REICHLING als Geschäftsführer der Kommission für Geoinformationswirtschaft an der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe über aktuelle Leitprojekte in der Geoinformationswirtschaft und erläuterte wichtige Zusammenhänge zwischen Wirtschaftsförderung und der Nutzbarmachung von Geoinformationen.

Vortragsprogramm

Am 14. und 15. April wurden die Fachvorträge der Arbeitskreise parallel in drei Sitzungsräumen gehalten. Einzelheiten zu den Inhalten und Ergebnissen finden sich in den Berichten der Arbeitskreisleiter ab Seite 288 in diesem Heft.

Fachfirmenausstellung und Posterbeiträge

Parallel zu der Firmenausstellung wurden u.a. in den Kaffeepausen die wissenschaftlichen Poster präsentiert und zusätzliche Darstellungen der Firmen und Anbieter angeboten.

Mitgliederversammlung am 14. April 2011

Die außerordentliche Mitgliederversammlung der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation e.V. fand am 14. April von 17:15 bis 18:10 Uhr statt. Dort wurden folgende Tagesordnungspunkte behandelt, die ohne Änderungswün-

sche von der Versammlung angenommen wurden:

1. **Begrüßung und Genehmigung der Tagesordnung**
2. **Satzungsänderung**
3. **Verschiedenes**

Vor Einstieg in die Tagesordnung gedachten die Präsidentin und die Anwesenden den verstorbenen Mitgliedern Prof. Dr. J. ALBERTZ, Dr. W. BRINDÖPKE, Prof. Dr. U. WIECZOREK und Prof. E. MOHR.

Die Präsidentin erläuterte die Hintergründe und Vorgehensweise für die Abstimmung über die geplante Satzungsänderung zur Änderung des Namens der Gesellschaft, in „DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR GEOINFORMATIK, PHOTOGRAMMETRIE UND FERNERKUNDUNG (DGPF) e.V. Auf der Mitgliederversammlung am 1. Juli 2010 in Wien hatte der Vorstand den Auftrag erhalten, das Meinungsbild der Mitglieder zur geplanten Namensänderung einzuholen. Am Diskussionsforum im Internet beteiligten sich insgesamt 28 Mitglieder. Davon äußerten sich 17 positiv zu der geplanten Namensänderung, 8 waren dagegen, 3 waren unentschieden bzw. nicht eindeutig in ihrer Formulierung. Besonders positiv wurde bewertet, dass das Logo der DGPF beibehalten werden sollte und somit die etablierte Außenwirksamkeit der Gesellschaft bestehen bliebe.

Zu Beginn der Mitgliederversammlung hatten alle persönlichen Mitglieder sowie die offiziell benannten Vertreter der korporativen Mitglieder einen Wahlschein erhalten. In der geheimen Abstimmung über die vorgeschlagene Satzungsänderung stimmten 62 Mitglieder (59,6%) für und 42 Mitglieder (40,4%) gegen die Namensänderung der Gesellschaft. Die erforderliche Mehrheit von 75% für die Satzungsänderung wurde somit nicht erreicht und damit der Antrag auf Änderung des Namens abgelehnt.

Unter dem Tagesordnungspunkt „Verschiedenes“ informierte die Präsidentin über aktuelle Veränderungen in der Zusammensetzung des Vorstandes und in den Arbeitskreisen. Mit Heft 5/2011 wird die PFG-Hauptschriftleitung von Prof. Dr. H. MAYER an Prof. Dr. W. KRESSE und Dr. F. ROTTENSTEINER übergeben. Der Vorstand und die Anwesenden dankten dem bis-

herigen Hauptschriftleiter für seine ausgezeichnete Arbeit. Die begleitende Schriftleitung wird von Prof. T. KERSTEN an Prof. Dr. ST. HINZ übergeben.

Zu den Arbeitskreisen wurden nachfolgende Informationen übermittelt:

- Der AK 3D-Stadtmodelle (gemeinsam mit der DGfK) ist erfolgreich gestartet. 2009 und 2010 fanden in Bonn Symposien mit jeweils ca. 100 Teilnehmern statt. Das nächste Symposium wird am 8./9. November 2011 wieder in Bonn stattfinden.
- Der AK Geoinformationssysteme hat in Berlin im Herbst 2010 sehr erfolgreich ein Symposium zum Thema **3D Geoinformation** mitgestaltet.
- Prof. T. KERSTEN hat den Arbeitskreis Nahbereichsphotogrammetrie von Prof. Dr. H.-J. PRZYBILLA übernommen und den Arbeitskreis umbenannt in **Optische 3D-Mess-technik**.
- Die Leitung des Arbeitskreises **Geoinformationssysteme** wird von Prof. Dr. T. KOLBE an Prof. Dr. J. DÖLLNER übergeben.
- Dr. G. GRENZDÖRFFER übernimmt von Prof. Dr. J. SCHIEWE den Arbeitskreis **Aus- und Weiterbildung**. Dieser Arbeitskreis soll künftig gemeinsam mit der entsprechenden Kommission der DGfK geführt werden.
- Arbeitskreis **Recht und Geodaten**: Bisher erfolgte die Mitwirkung von Dr. E. SEYFERT in der Kommission der DGfK. Angedacht ist, auch hier einen gemeinsamen Arbeitskreis mit der DGfK vorzubereiten.

Der angekündigte neue Ausbildungsberuf Geomatiker in Deutschland startete im Sommer 2010.

Das DGPF-Projekt *Evaluierung digitaler photogrammetrischer Aufnahmekameras* ist abgeschlossen. Die Übernahme der Informationen vom Institut für Photogrammetrie der Universität Stuttgart auf die Homepage der DGPF ist in Vorbereitung. Die Archivierung aller Projektdaten erfolgt bei der DGPF. Die Daten stehen weiterhin für wissenschaftliche Zwecke zur Verfügung, Anfragen sind an den Sekretär zu richten.

Die DGPF pflegt weiterhin eine enge Zusammenarbeit mit dem DIN. Eine öffentliche Sitzung des DIN-Ausschusses wurde den Tagungsteilnehmern am 13.4.11 in Mainz angeboten.

Die Stiftung PFGeo entwickelt sich weiter positiv. Der aktuelle Vermögensstand beträgt ca. 38 T€. Eine erste Ausschüttung der Stiftungserträge an die DGPF entsprechend Stiftungszweck soll Ende 2011 zur Teilfinanzierung des DGPF-Anteils des Karl-Kraus-Nachwuchsförderpreises erfolgen.

MANFRED WIGGENHAGEN, Hannover

Firmenausstellung

Nach den beiden Jahrestagungen mit Bezug zum 100-jährigen Bestehen der DGPF bzw. der ISPRS folgte wieder eine Tagung mit Umfang einer „gewohnten“ Jahrestagung. Das spiegelte sich auch in der Firmenausstellung wider. Insgesamt 11 Aussteller informierten über ihre neuen Produktentwicklungen oder wiesen auf bereits im Einsatz befindliche Gerätetechnik hin.

Die Firmenausstellung war von den Organisatoren optimal zwischen den Vortragsräumen und im unmittelbaren Umfeld der Pausentreffpunkte und der Registrierung platziert worden. Jeder Teilnehmer der Tagung hatte so die Möglichkeit, während der Jahrestagung mehrfach die Ausstellung „im Vorbeigehen“ zu besuchen. Die Ausstellungsfläche war geräumig und lichtdurchflutet.

Neben den auf den Jahrestagungen zu den häufigen Ausstellern zählenden Firmen wie AMCAD&rauch, IGI mbH, Leica Geosystems AG zusammen mit Z/I Imaging unter dem neuen Dach der *Hexagon Geosystems* und Vexel Imaging GmbH konnten in diesem Jahr auch neue Firmen begrüßt werden. Dies sind EPSON (mit großformatiger Plottechnik), geo-konzept, ITT-Visual Information Solution und sigma 3D GmbH.

ECKHARDT SEYFERT, Werder/Havel

Verleihung des Karl Kraus-Nachwuchsförderpreises 2011

Im Rahmen der feierlichen Eröffnungsveranstaltung der DGPF-Jahrestagung wurde am 14. April 2011 der Karl Kraus-Nachwuchsförderpreis 2011 verliehen. Die Übergabe fand traditionsgemäß in Anwesenheit von Frau URSULA KRAUS, der Witwe des Namensgebers der Auszeichnung, statt. Mit dem Karl Kraus-Nachwuchsförderpreis werden herausragende Abschlussarbeiten auf den Gebieten der Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation sowie ihrer Nachbarbereiche ideell gewürdigt, finanziell honoriert und einer größeren Öffentlichkeit bekannt gemacht.



Preisverleihung des Karl Kraus-Nachwuchsförderpreises 2011 (v.l.n.r.): DIPL.-ING. WOLFGANG GOLD (Schatzmeister, OVG), Dr.-Ing. GÖRRES GRENZDÖRFFER (Jury-Vorsitzender), Prof. Dr. CORNELIA GLÄSSER (Laudatorin, Präsidentin DGPF), URSULA KRAUS, MICHAEL DENK (1. Platz), STEFAN CAVEGN (2. Platz), CATIA REAL EHRlich (3. Platz), Dr.-Ing. JÖRG BLANKENBACH (Laudator), Prof. Dr. STEPHAN NEBIKER (Laudator). Foto: © FH Mainz.

Aus 8 Bewerbungen wählte die trinationale Jury, bestehend aus KIRSTEN WOLFF (swisstopo), VIKTOR KAUFMANN (TU Graz) und GÖRRES GRENZDÖRFFER (Universität Rostock) sowie als Moderator JOCHEN SCHIEWE (HafenCity Universität Hamburg), folgende Preisträger aus:

1. Preis: MICHAEL DENK (Universität Halle-Wittenberg, Betreuerin: Prof. Dr. GLÄSSER) zum Thema „*Reflexionsspektrometrische Inventarisierung von mineralischen Oberflächen und sekundären Mineralneubildungen in der Bergbaufolgelandschaft bei Teutschenthal*“

2. Preis: STEFAN CAVEGN (Fachhochschule Nordwestschweiz, Betreuer: PROF. DR. NEBIKER) zum Thema: „*Automatisierte Verkehrs-*

zeichenkartierung aus mobil erfassten Stereobilddaten“

3. Preis: CATIA REAL EHRlich (TU Darmstadt, Betreuer: DR. BLANKENBACH) zum Thema: „*3D-Innenraummodellierung – Von der Datenerfassung bis zur Visualisierung auf Basis eines geometrisch-topologischen Datenmodells*“

Wie im vergangenen Jahr wurden die Preisträger durch kurze Laudationes ihrer Betreuer näher vorgestellt. Darüber hinaus präsentierten sich die Gewinner in Vorträgen im Rahmen des regulären Vortragsprogramms. Die Kurzfassungen der prämierten Arbeiten sind im Folgenden abgedruckt.

GÖRRES GRENZDÖRFFER, Rostock

Kurzfassung der ausgezeichneten Arbeiten des trinationalen Karl Kraus-Nachwuchsförderpreises 2011

Reflexionsspektrometrische Inventarisierung mineralischer Oberflächen und sekundärer Mineralneubildungen in der Bergbaufolgelandschaft bei Teutschenthal

In Deutschland als bedeutendem Standort der Kalisalzproduktion sind mehr als eine Milliarde Tonnen an Rückständen des Kalisalzabbaus und der Kalisalzverarbeitung in Form von Halden aufgeschüttet. Hohe Stoffausträge aus den Haldenkörpern führen zu Stoffeinträgen in verschiedene Umweltkompartimente. Am Beispiel der Kalihalde bei Teutschenthal (westlich von Halle/Saale) wurden dynamische Lösungs- und Rekrystallisationsprozesse an der Haldenoberfläche sowie mineralische Ausfällungen aus soleartigen Haldensickerwässern als weitere Folge des Stoffaustrags mit Hilfe reflexionsspektrometrischer Feld- und Labormessungen untersucht. Im Fokus der Arbeit stand die systematische Analyse der Beeinflussung bekannter mineralspezifischer spektraler Signaturen durch physiko-chemische Parameter unter Geländebedingungen.

Die Ziele der Untersuchungen waren: (I) Die Detektion der spektralen Signaturen mineralischer Oberflächen und sekundärer Mineralausfällungen im Stoffaustrags- und Stoffeintragsgebiet der Kalihalde, (II) die Überprüfung der spektralen Identifizierbarkeit der Mineralphasen unter Feld- und Laborbedingungen und (III) das Aufzeigen des Einflusses und der Wechselwirkungen von variierenden Feuchtigkeiten, Mineralausprägungen und Eisengehalten auf die Spektren.

Zur detaillierten Untersuchung der mineralischen Oberflächen und Ausfällungen fand ein breites und interdisziplinäres Methodenspektrum Anwendung. In multitemporalen Geländebegehungen im März sowie Juli und August 2009 wurden umfangreiche Probenahmen durchgeführt. Die Bestimmung von Mineralphasen geschah mittels Röntgenpulverdiffraktometrie. Weiterhin erfolgte die Bestimmung von physiko-chemischen Parametern wie pH-Werten, Leitfähigkeiten und Stoffkonzentrationen für die geochemische Charakterisierung der Oberflächen. Die reflexionsspektrometrischen Messungen wurden mit einem ASD Fieldspec Pro im Spektralbereich von 350–2500 nm unter Laborbedin-

gungen und im Sommer 2009 unter Geländebedingungen durchgeführt. Die Feldspektren ungestörter und geländefeuchter Oberflächen sowie Laborspektren getrockneter und auf verschiedene Korngrößenfraktionen gesiebter Proben wurden mit Referenz-Spektren der USGS Spectral Library abgeglichen und die spektrale Identifizierbarkeit der Mineralephasen überprüft. Die Verifikation erfolgte mit den röntgendiffraktometrisch ermittelten Referenzen. Der Einfluss der Feuchtigkeit auf die Probenspektren wurde durch Langzeitmessungen im Labor dokumentiert.

Als Ergebnis der Arbeit konnten die mineralischen Bildungen im Jahresgang spektral erfasst, differenziert und die dominanten Mineralphasen identifiziert werden. Detektiert wurden die ganzjährig ausfallenden Gipse von unterschiedlichem Kristallhabitus und Farbe, die sich in den Wintermonaten bei niedrigen Temperaturen und hoher Luftfeuchtigkeit bildenden Mirabilitkristalle sowie die im Sommer ausfallenden Mischkristalle aus Halit und Epsomit. Dabei wurde systematisch die Beeinflussung der Sichtbarkeit mineralspezifischer Absorptionsbanden und der Spektralform durch Feuchtigkeit, Mineralausprägung und dem Eisengehalt aufgezeigt. Weiterhin erfolgte die Ausweisung von Zeitfenstern und optimalen Bedingungen für die flächenhafte Erfassung mit hyperspektralen Fernerkundungsdaten. In ersten Arbeiten wurden die punktuell ermittelten Ergebnisse auf abbildende Daten des Sensors HyMap übertragen und die flächendeckende Identifizierbarkeit der Minerale aufgezeigt. Weiterführende Arbeiten werden diesen Ansatz vertiefen.

MICHAEL DENK, Halle
e-mail: michael.denk@student.uni-halle.de

Automatisierte Verkehrszeichenkartierung aus mobil erfassten Stereobildern

In den letzten Jahren konnten die Technologien der Satellitennavigation und Inertialmesstechnik markant verbessert werden. Dies führte dazu, dass für die effiziente Erfassung und Kartierung von Geodaten vermehrt mobile Messfahrzeuge eingesetzt werden. Über ein

solches Kartierungsfahrzeug verfügt auch das Institut Vermessung und Geoinformation der FHNW, welches ein Navigationssystem (Inertialmesseinheit und GNSS-Empfänger) zur direkten Georeferenzierung des Stereokamerasystems mit Full-HD-Auflösung verwendet. Eine konkrete Anwendung besteht in der automatisierten Kartierung und Inventarisierung von Verkehrszeichen. In dieser Arbeit lag der Fokus auf der 3D-Kartierung von Verkehrszeichen entlang von Hauptstraßen. Dazu waren in MATLAB-Algorithmen und Datenstrukturen für die automatische und benutzerunterstützte Verkehrszeichenextraktion aus Stereobildsequenzen mit anschließender 3D-Positionsbestimmung zu entwickeln. Die automatische Bestimmung von Sachdaten dient dem Aufbau oder Aktualisierung eines Geoinformationssystems.

Für die entwickelten Algorithmen bilden die Disparitätskarten aus Stereoaufnahmen eine wichtige Grundlage. Diese werden mit der OpenCV-Implementierung des SGM-Algorithmus nach HIRSCHMÜLLER (2008) generiert. Nachdem das RGB-Normalbild in den HSV-Farbraum transformiert wurde, wird der Suchraum mit der Disparitätskarte auf einen definierten Distanzbereich eingeschränkt. Rote, blaue und gelbe Farbsegmente werden anhand von empirisch ermittelten Schwellwerten ausgeschieden. Dies erfolgt mit der Hue- und Saturation-Komponente, da diese auf unterschiedliche Belichtungsverhältnisse nicht stark empfindlich sind. Entsprechen die Farbsegmente einer distanzabhängigen Flächengröße, wird die Form mit den zwei Deskriptoren Formfaktor und Extent ermittelt. Die Differenzen zwischen der Ausdehnung der Segmente und den normierten Seitenlängen dürfen ein Toleranzintervall nicht überschreiten. Dabei dienen die Disparitätskarten als Grundlage für die Bestimmung der metrischen Breite und Höhe des Segments. Die Berechnung des Detektionsindikators erfolgt auf Grund von Ebenheitssegmenten. Dabei werden in der Tiefenkarte Regionen ausgeschieden, in denen die Bildpunkte fast keine Tiefenunterschiede aufweisen. Wurde das Verkehrszeichen lokalisiert, können mit Hilfe der Disparitätskarte aus den Bildkoordinaten des Schwerpunktes die 3D-Objektkoordinaten berechnet werden. Beim kreuzkorrelationsba-

sierten Template Matching werden nicht alle vordefinierten Referenzmuster getestet: Durch den hierarchischen Klassifizierungsansatz kann die Kandidatenmenge auf Grund von Farbe und Form wesentlich reduziert werden. Überschreitet der maximale normierte Kreuzkorrelationskoeffizient einen Schwellwert, war die Klassifizierung erfolgreich. Sachdaten wie die 3D-Koordinaten, die Referenzmutternummer und die normierte Ausdehnung des Verkehrssignals werden in eine Textdatei ausgegeben.

Die automatische Detektion von weißen und grauen Verkehrszeichen erfolgt mit der Hough-Transformation. Dabei werden auf den Kanten, welche mit dem Canny-Operator extrahiert und in den Ebenheitssegmenten liegen, die Formen Kreis und Rechteck geprüft. Die Einschränkung der Anzahl Maßstäbe erfolgt mit der Distanz zum Verkehrszeichen, wofür wiederum die Disparitätskarte verwendet wird. Weiter kommt die Hough-Transformation bei der benutzerunterstützten Detektion zur Anwendung, wenn die Farbsegmentierung nicht zum gewünschten Erfolg führt. Dabei werden je nach Farbe auch die Formen Quadrat, Dreieck und Rhombus getestet. Liegen schlechte Disparitätskarten vor, kann der Suchraum durch eine manuelle Digitalisierung eingeschränkt werden.

Für die Güteuntersuchungen der entwickelten Algorithmen wurden georeferenzierte Stereobildsequenzen von einer Messfahrt in Muttenz verwendet. Im Distanzbereich von 4 bis 14 m konnten 89% aller relevanten Verkehrszeichen detektiert werden. Korrekt klassifiziert wurden auf einer Hauptstraße 86% und in Quartierstrassen 82%. Für die Berechnung der Kartierungsgenauigkeit erfolgte die Referenzkoordinatenbestimmung von 22 Verkehrszeichen mit einem Tachymeter. Die Differenzen zu den mit den entwickelten Algorithmen ermittelten Koordinaten wurden ausgewertet. Es resultierte eine empirische Standardabweichung einer 3D-Koordinatendifferenz von 9,5 cm.

Die Arbeit zeigt, dass mit dem Einbezug der Tiefeninformation in der automatisierten Verkehrszeichendetektion sehr gute Ergebnisse zu erwarten sind. Unter guten Bedingungen können 90% aller roten, blauen und gelben Verkehrszeichen im Standardformat in der

Schweiz automatisch detektiert und 85% korrekt klassifiziert werden. Benutzerunterstützt lassen sich diese Werte um weitere 5% erhöhen. Somit müssen nur noch 5 bis 10% der Verkehrszeichen manuell in den Stereobilddaten oder im Feld digitalisiert werden. Durch den benutzerunterstützten Ansatz und diverse Einschränkungen treten nahezu keine "False Positives" auf. Untersuchungen ergaben, dass eine vollautomatische GIS-Kartierung mit einer 3D-Genauigkeit von unter 10 cm möglich ist.

STEFAN CAVEGN, Ruschein, Schweiz
e-mail: cavegnstefan@hotmail.com

3D-Innenraummodellierung – Von der Datenerfassung bis zur Visualisierung auf Basis eines geometrisch-topologischen Datenmodells

Die Nachbildung von Gebäuden in Form von virtuellen Computermodellen gewinnt zunehmend an Bedeutung. Der Detaillierungsgrad (Level-of-Detail, LoD) dieser Modelle nimmt dabei stetig zu und reicht aktuell bereits bis ins Bauwerksinnere (LoD 4). Damit eignen sie sich nicht nur für virtuelle Rundgänge mit ansprechender Visualisierung, sondern ermöglichen zudem räumliche und graphische Analysen, Planungen sowie Simulationen für unterschiedliche Anwendungen (Innenraumarchitektur, Facility Management, Indoor-Navigation, Sicherheits- und Katastrophenmanagement, etc.).

Entscheidend für die Anwendungsimplementierung auf Basis von 3D-Innenraummodellen sind jedoch die korrekte Modellierung (Geometrie, Topologie und Semantik) und die Verfügbarkeit von standardisierten, Web-basierten Schnittstellen für die Bereitstellung der Daten. Für viele bestehende Gebäude kommt hinzu, dass entweder keine oder nur eine geringe bzw. qualitativ minderwertige Datengrundlage zur Ableitung von detaillierten 3D-Gebäudemodellen existiert.

Im Rahmen der Diplomarbeit wurde daher ein geschlossenes Konzept von der Datenerfassung über die Datenverwaltung auf Basis eines geometrisch-topologischen Datenmodells bis hin zur Bereitstellung und Visualisie-

rung von 3D-Innenraummodellen entwickelt. Dabei wurden vor allem die Standards des Open Geospatial Consortiums (OGC), insbesondere CityGML als interoperables Beschreibungsformat, mit dem geometrische, semantische sowie topologische Eigenschaften von Gebäudeobjekten einheitlich beschrieben und verlustfrei ausgetauscht werden können, berücksichtigt.

Für die Erfassung der Gebäudedaten wurde ein reflektorlos messendes Tachymeterinstrument eingesetzt. Die Auswertung bzw. Konstruktion kann dabei bereits vor Ort an einem angeschlossenen Messrechner (Laptop, Handheld) erfolgen. Die polaren Messwerte werden dabei direkt vom Instrument zum Rechner übertragen und in einer Erfassungssoftware zu einem einfachen 3D-Geometriemodell (Drahtmodell) verarbeitet.

Um die Objektbildung mit korrekter geometrischer, topologischer und semantischer Modellierung zu erreichen, muss basierend auf dem Drahtmodell zunächst eine 3D-Volumenmodellierung erfolgen. Mit Hilfe von CAD-Schnittstellen (z. B. dxf) können die 3D Daten dazu in eine CAD-Software zur Nachbearbeitung eingespielt werden. Das verwendete Produkt „AutoCAD Map 3D“ stellt neben den klassischen konstruktiven Funktionen von CAD-Systemen zudem Funktionen für die Erzeugung, Bearbeitung und Visualisierung von Geodaten bereit. So kann bereits auf der Ebene des CAD-Systems eine Verknüpfung zwischen der Geometrie sowie den thematischen, semantischen und topologischen Informationen erfolgen.

Die so erzeugten Modellobjekte werden schließlich zur persistenten Speicherung in eine Geodatenbank (Oracle Spatial) überführt. Die in der Datenbank gespeicherten Elemente des Gebäudemodells werden zunächst mit einem von Oracle zu Verfügung gestellten Geometriedatentyp beschrieben, der jedoch eine redundante Geometriehaltung zur Folge hat. Dies erhöht einerseits das Datenvolumen und andererseits die Gefahr für das Zustandekommen von Inkonsistenzen in den Daten. Durch die fehlende explizite Modellierung der Topologie können zudem keine direkten Nachbarschaftsanalysen durchgeführt werden. Aus diesem Grund wurde ein Datenmodell entwickelt, welches die geometrischen und topolo-

gischen Eigenschaften der Gebäudeobjekte effizient und redundanzfrei speichert. Die Speicherung von Geometrie und Topologie lehnt sich dabei an das Konzept der Boundary Representation (B-REP) an. Beim B-REP-Konzept wird ein 3D-Körper durch seine begrenzenden Flächen modelliert, deren Ränder sich aus Linien zusammensetzen und die wiederum aus Punkten bestehen. Für das geometrisch-topologische Modell wurde dieses Konzept für die Beschreibung mit den topologischen Primitiven Knoten, Kanten, Maschen erweitert und in ein semantisches an CityGML angelehntes Datenmodell überführt. Die Zerlegung der SDO-Geometrieobjekte in die topologischen Primitiven erfolgt durch einen implementierten Java-basierten Konverter.

Zur Bereitstellung des Gebäudemodells im CityGML-Format wurde ein Web Feature Service (WFS) verwendet. Beim WFS handelt es sich um einen OGC Web Service für die Anforderung vektorbasierter Geodaten im GML Format. Für die Generierung von CityGML-Dokumenten wird der WFS um eine Extensible Stylesheet Language Transformation (XSLT) erweitert. XSLT stellt eine vom World Wide Web Consortium (W3C) definierte, XML-basierte Sprache zur Transformation von XML-Dokumenten dar.

Für die Visualisierung der 3D-Innenraummodelle kann das Format X3D (eXtensible 3D) verwendet werden. X3D ist eine XML-basierte Standardisierung für 3D-Grafiken im Web. Für die Konvertierung des CityGML-Modells in das X3D-Format werden Visualisierungsdienste, wie der Web 3D Service (W3DS), benötigt. Zurzeit existieren noch keine frei verfügbare W3DS. Daher wurde ein eigener, an die Spezifikation des W3DS angelehnter Web Service für die Abbildung von Gebäudemodellen im X3D-Format realisiert. Die generierte X3D-Szene kann anschließend mit einem Viewer (z. B. InstantPlayer, Octaga-Viewer) oder über ein Plug-In direkt im Web Browser betrachtet werden. Mobile Endgeräte, die eine begrenzte Darstellungsfläche, eine geringe Grafikleistung sowie eine begrenzte Übertragungskapazität aufweisen, erfordern angepasste Lösungen. Zu diesem Zweck wird eine Anwendung entwickelt, die auf Java ME beruht und die Visualisierung der X3D-Daten auf dem Smartphone ermöglicht.

Mit Hilfe des entwickelten Konzeptes können 3D-Innenraummodelle auf Basis eines geometrisch-topologischen und semantischen Datenmodells sowie mit Hilfe interoperabler Dienste erfolgreich verwaltet und bereitgestellt werden. Durch die Einbeziehung weiterer Sachinformationen kann das Datenmodell nicht nur für 3D-Visualisierungen verwendet, sondern in Analysen und Berechnungen einbezogen werden. Im Rahmen der Diplomarbeit konnte so bspw. die Energiebilanzierung für ein öffentliches Gebäudes durch das entwickelte Konzept unterstützt werden.

Ein weiterer Vorteil dieser Umsetzung ist die beliebige Erweiterbarkeit des Konzeptes. Es können weitere Ausgabeformate realisiert, andere OGC Web Service angeknüpft und das Datenmodell erweitert werden, um eine Reihe von 3D-Anwendungen zu verwirklichen. So könnte das konzipierte Datenmodell ebenso für mobile Anwendungen innerhalb von Gebäuden verwendet werden, um dem Nutzer standortbezogene Daten oder Dienste im Gebäudekontext zur Verfügung zu stellen (Indoor Location Services).

CATIA REAL EHRlich, Darmstadt
e-mail: realehrlich@geod.tu-darmstadt.de

Berichte der Arbeitskreise der DGPF

3D-Stadtmodelle

Arbeitsgebiete – Terms of Reference

- Qualitätsbewertung / -management
- Erfassung und Fortführung
- 3D-Kartographie (Gestaltung)
- Integration
- (Neue) Anwendungen
- Vertrieb
- Technik
- Dienste

Bericht von der Jahrestagung

Die Vorträge zum Thema 3D-Stadtmodelle waren gut besucht und die anschließenden Diskussionen zeigten, wie viele Fragen zu einem nicht mehr ganz neuen Thema noch offen sind. Auch die Vorträge zum Themenbereich Geoinformatik beschäftigten sich mit 3D-Stadtmodellen.

Zwei Vorträge hatten die Aufdeckung von Veränderungsinformationen für die Fortführung von 3D-Stadtmodellen zum Thema. MICHAEL HAHN, Hochschule für Technik Stuttgart, ging in seinem Vortrag auf die Möglichkeiten ein, aus Daten zweier Laserscanner-Befliegungen mit Hilfe der aufgedeckten Höhenänderungen signifikante Informationen zur Fortführung zu erhalten. Als Ausgangsflä-

chen dienten Regionen, die aus Orthophotodaten und einem Oberflächenmodell errechnet wurden. Die Teststrategie und die Ergebnisse wurden anschaulich erläutert und anschließend von den Zuhörern konträr diskutiert; verständlicherweise war das Interesse an der Aufdeckung von Veränderungen an Gebäuden größer als das an Geländedaten.

Für seine Differenzanalyse nutzt RICO RICHTER, Universität Potsdam, ebenfalls Daten einer aktuellen Laserscanner-Befliegung. Als Referenzdaten, die er für die Veränderungsanalyse heranzieht, kann er sowohl Oberflächenmodelle nutzen als auch Punktwolken aus älteren Laserscanner-Befliegungen. Die Differenzen werden durch unterschiedliche Farben anschaulich präsentiert und erleichtern dem Betrachter die schnelle Interpretation, wo relevante Veränderungen vorliegen. Der Ansatz konnte erfolgreich auf terrestrische Laserdaten übertragen werden. Dort können die Differenzen zum Beispiel unzulässige Abweichungen von vorgegebenen Normen kenntlich machen.

Mit einer ganz anderen Form der Veranschaulichung von Informationen befasste sich schließlich der letzte Vortrag: AMIR SEMMO, ebenfalls von der Universität Potsdam, nutzt kartenverwandte Darstellungen der 3D-Stadtmodelle, um Informationen zu verstärken und diese so in den Fokus des Betrachters zu stel-

len. In einer ganzen Reihe von Darstellungen erläuterte er, wie dies mit Hilfe von Kantenverstärkungen, Transparenz und natürlich auch Farbe möglich ist. Da die Präsentationen parametergesteuert in Echtzeit erfolgen, eröffnen sich viele Einsatzmöglichkeiten insbesondere im Planungsprozess und anderen Verwaltungsabläufen.

Weitere und geplante Aktivitäten

Der Arbeitskreis 3D-Stadtmodelle bereitet derzeit den nächsten Workshop vor, der am 8. und 9. November wiederum im UniClub Bonn stattfinden wird. Informationen werden in Kürze auf der Homepage 3d-stadtmodelle.org zu finden sein.

BETTINA PETZOLD, Freiburg

Aus- und Weiterbildung

Arbeitsgebiete – Terms of Reference

- Beobachtung von Aus- und Weiterbildungsangeboten
- Beobachtung und Bewertung neuer Lehr- und Lernmethoden
- Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses
- Nationale und internationale Kooperationen

Bericht von der Jahrestagung

Zur Sitzung des Arbeitskreises anlässlich der Jahrestagung fanden sich ca. 20 Teilnehmer ein. Drei der insgesamt vier Beiträge standen unter dem Motto postgradualer Weiterbildungsangebote im Photogrammetrie-, Fernerkundung- und GIS-Umfeld. Der vierte Beitrag widmete sich dem neuen Ausbildungsberuf Geomatiker.

Der erste Beitrag der AK-Sitzung wurde von THOMAS BLASCHKE, Universität Salzburg zum Thema „*Beitrag von Geoinformatik und GIScience in allen Stufen des Bologna-Systems – eine Bilanz an der Universität Salzburg*“ gehalten. In diesem Überblicksreferat wurde aus der Salzburger Perspektive über die Erfahrungen mit dem Bologna-System aus Sicht der Geoinformatik und der Lehrenden

sowie den über 1000 Absolventen sehr eindrucksvoll referiert. Im Ergebnis zeigt sich, dass das Bologna-System sich keineswegs so nachteilig auswirkt, wie oft behauptet wird. Es wurde aufgezeigt, dass in ‚Bologna‘ große Chancen modularer und damit flexibler Ausbildung liegen und einige spezifische Punkte hinsichtlich internationaler Vergleichbarkeit, integrierter Studienprogramme und der Mobilität von Studierenden und der laufenden Anpassung der Qualifizierung für den Arbeitsmarkt eindeutige Vorteile bieten. Anhand der Zahlen und Graphiken wurde deutlich, wie stark die Nachfrage nach akademischer Weiterbildung in den letzten Jahren angestiegen ist. Diese Nachfrage nach herstellerneutralen Informationen wird von der Uni Salzburg auch als ein Auftrag verstanden, nicht nur Kenntnisse über Software und GIS-Methoden zu vermitteln, sondern einen ganzheitlichen Systemansatz zum Thema GIS zu vermitteln.

Der Beitrag von MICHAEL CRAMER, Universität Stuttgart „*Internationale Masterprogramme im Umfeld der Geodäsie – Ein Beitrag zur Weiterbildung?*“ ging der spannenden Frage nach, wie es um die Internationalität der postgradualen Lehre im deutschsprachigen Raum bestellt ist. Insgesamt werden an neun verschiedenen Hochschulen internationale, d.h. in der Regel englischsprachige Masterstudiengänge angeboten (mit Salzburg sind es zehn). Interessanterweise entspricht das Angebot der internationalen Programme ca. 10 % der Studierenden. Im Gegensatz zu den deutschsprachigen Programmen ist der Aufwand für die internationalen Programme größer. Das zeigt sich z. B. daran, dass nur etwa 30 % der Bewerber – aus verschiedensten Gründen – tatsächlich ihr Studium auch beginnen.

MATTHIAS VOELZKE (Hochschule Anhalt in Dessau) berichtete in seinem Vortrag über „*Der berufsbegleitende Online-Masterstudiengang Geoinformationssysteme an der Hochschule Anhalt*“. Im Wintersemester 2010/2011 startete der bundesweit erste weiterbildende Online-Masterstudiengang „*Geoinformationssysteme*“ an der Hochschule Anhalt mit über zwanzig Studierenden. Der viersemestrige berufsbegleitende Weiterbildungsstudiengang Geoinformationssysteme richtet sich an Berufstätige mit Hochschulabschluss (Bache-

lor – Diplom), die mit GIS arbeiten. Zusätzlich sind als Eingangsvoraussetzung zwei Jahre berufliche Praxis nach Verlassen der Hochschule oder Universität erforderlich. Bei der Entwicklung eines Fernstudium-Masters besteht die große Herausforderung darin, innerhalb von vier Semestern 120 Leistungspunkte zu erreichen, um die Studiendauer für die Fernstudierenden in überschaubaren Grenzen zu halten. Die Hochschule Anhalt hat dieses Problem durch die Anerkennung beruflicher Projekte gelöst, was in der Diskussion durchaus kontrovers aufgenommen wurde.

KLAUS-ULRICH KOMP informierte die Anwesenden mit seinem Beitrag: „*Geomatiker/in: der neue Beruf der Geoinformationstechnologie nimmt Fahrt auf*“ über den aktuellen Stand der Geomatikerausbildung, an dem die DGPF auch einen gehörigen Entwicklungsanteil hatte. Der Ausbildungsberuf Geomatiker hat formal alle Hürden genommen und die entsprechende Verordnung ist zum 1. August 2010 in Kraft getreten. Danach sind die bisherigen Berufe Kartograph, Vermessungstechniker und Bergvermessungstechniker zu zwei Ausbildungsberufen (Geomatiker und Vermessungstechniker) zusammengeführt worden. Das erste Ausbildungsjahr zu dem neuen Beruf läuft, wenn auch nicht an allen entsprechenden Berufsschulen, erfolgreich. In der lebhaften Diskussion wurde angemerkt, dass viele kleinere Betriebe in der Geoinformationsbranche eigentlich zu wenig ausbilden, unter anderem weil die Kenntnis über den Ausbildungsberuf Geomatiker und dessen Inhalte zu gering sind und Anforderungen an die Ausbildungsbefähigung in den letzten Jahren kontinuierlich gewachsen sind.

Weitere und geplante Aktivitäten

Neben der Jahrestagung ist die 7. GIS-Ausbildungstagung in Potsdam ein weiteres Highlight, bei dem sich viele Mitglieder des Arbeitskreises treffen und austauschen.

GÖRRES GRENZDÖRFFER, Rostock

Auswertung von Fernerkundungsdaten

Inhaltliche Schwerpunkte des Arbeitskreises sind wie in den Jahren zuvor die Bearbeitung, Auswertung, Analyse und Interpretation von Fernerkundungsdaten, darunter die Methoden- und Algorithmenentwicklung für unterschiedliche Anwendungsaspekte, thematische Analysen multi-sensoraler und multi-temporalen Daten, Untersuchungen zur Genauigkeit und Qualität von Interpretationsergebnissen sowie die Integration von Ground-Truth Daten.

Der Arbeitskreis versteht sich als Plattform zur Diskussion und zum Gedankenaustausch zwischen Forschern, Entwicklern und Anwendern. Zur Mitarbeit im Arbeitskreis sind alle Interessenten, Fachwissenschaftler und Anwender auch aus angrenzenden geowissenschaftlichen Disziplinen und potentiellen Anwendungsbereichen aufgerufen.

Auch im vergangenen Jahr wurde die Tradition der jährlichen Arbeitskreisveranstaltungen zwischen den Jahrestagungen mit einem Workshop, diesmal zum thematischen Schwerpunkt „*Fernerkundungsbasierte Technologien und Lösungen für Anwendungen in der Landwirtschaft*“ fortgesetzt. Die ca. 35 Teilnehmer diskutierten aktuelle anwendungsbezogene Forschungsthemen, die sich inhaltlich auf die Erfassung von Bestandsparametern aus Fernerkundungsdaten, auf Modelle zur Ertragsschätzung und das Bestandsmanagement sowie die Erfassung von Bodenparametern auf landwirtschaftlichen Flächen konzentrierten. Abschließend wurde in zwei Vorträgen über Leichtflugzeuge als Träger zur Gewinnung von Fernerkundungsdaten für die Landwirtschaft berichtet. Die meisten der auf dem Workshop gehaltenen Vorträge können wieder als PDF-Datei über die Internetseite des Arbeitskreises heruntergeladen werden.

Bericht von der Jahrestagung

Auf der diesjährigen Jahrestagung konnte der Arbeitskreis erneut zwei Sitzungen ausrichten. Auf eine Festlegung thematischer Schwerpunkte für die einzelnen Sitzungen wurde diesmal verzichtet: Die eingereichten Beiträge deckten sehr unterschiedliche Themenfelder

ab und spiegelten damit sehr gut die thematische Breite des Arbeitskreises wider.

Die erste Sitzung begann mit der Vorstellung des neuen Digitalen Landschaftsmodells für Deutschland (DLM-DE). MICHAEL HOVENBITZER vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie erläuterte das zugrundeliegende Konzept und die Einbindung in den nationalen und europäischen Rahmen. Ein wichtiges Ziel hierbei ist die Harmonisierung und Verfügbarmachung von umweltbezogenen Daten für unterschiedlichste Themenbereiche auf nationaler, regionaler und lokaler Ebene. Im DLM-DE erfolgt dies durch Integration von Geofachdaten zur Landbedeckung und Landnutzung in Geobasisdaten aus Teilen des ATKIS Basis-DLM. Nach einem Überblick über die verwendeten Eingangsdaten, zu denen neben dem ATKIS Basis-DLM auch aktuelle Satellitenbilder von RapidEye und DMC gehören, wurde der Prozessablauf der Datenauswertung erläutert, der gegenwärtige Stand der Arbeiten dargestellt und ein Ausblick auf zukünftige Planungen gegeben. BENJAMIN BECHTEL berichtete über die Ableitung von Oberflächenparametern aus Fernerkundungsdaten zur mikroklimatischen Charakterisierung urbaner Strukturen. Im Mittelpunkt stand die vor dem Hintergrund des globalen Klimawandels und der weltweiten Verstärkung sehr aktuelle Frage, wie aus Fernerkundungsdaten aussagefähige Oberflächenparameter für stadtklimatische Analysen abgeleitet werden können. Die im Beitrag vorgeschlagenen Parameter wurden an realen Daten des Stadtgebietes von Hamburg auf Plausibilität getestet und die Ergebnisse diskutiert. Im dritten Vortrag dieser Sitzung, gehalten von CLEMENS LISTNER (Forschungszentrum Jülich), standen methodische Aspekte der Veränderungsdetektion, speziell einer objekt-basierten Variante der IR-MAD, im Mittelpunkt. Für einen objekt-basierten Ansatz müssen dazu entsprechend alle Prozessschritte wie Segmentierung, Feature Extraction und MAD modifiziert und aufeinander abgestimmt werden. MARCUS MÖLLER von der MLU Halle schließlich stellte ein Verfahren zur Spezifikation phänologischer Aufnahmezeitpunkte in Deutschland vor, das insbesondere für eine satellitengestützte Differenzierung von Vegetationsklassen von großer Bedeutung ist.

Die zweite Sitzung wurde von TANJA RIEDEL (FSU Jena) mit der Vorstellung eines automatisierten Klassifikators zur Detektion von Landbedeckungsklassen eröffnet. Auch hier wurde eine komplette Prozesskette einschließlich Co-Registrierung, Segmentierung, automatischer Testgebietsfestlegung und Klassifizierung entwickelt und vorgestellt. Dafür werden sowohl optische als auch SAR Daten sowie für die Testgebietsextraktion eine wissensbasierte Datenbank benutzt. Die folgenden drei Vorträge waren speziell der Auswertung und Nutzung optischer RapidEye-Satellitenbilddaten für verschiedene Anwendungsbereiche gewidmet. STEFAN PÖCKING von der FSU Jena berichtete über Arctic Vegetation Type Mapping with RapidEye Data für die Bereitstellung von fernerkundungsbasierten Informationen zur Degradation und Veränderung in Permafrostgebieten und konnte beeindruckende Ergebnisse für diese sehr speziellen Bedeckungsklassen solcher Regionen zeigen. Eine automatische Erfassung potentieller Veränderungsflächen in thematischen Vektordaten stellte JOHANNES REDER von der RapidEye AG vor. Schwerpunkt dieses Beitrages war ebenfalls ein Verfahren zur automatisierten Ableitung von Referenzflächen für einen nachfolgenden Klassifizierungs- bzw. Change-Detection-Prozess. ADELHEID RAPPL (Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft) sprach über Möglichkeiten der Waldmaskierung mit RapidEye Daten im Vergleich mit amtlichen Geodaten und konnte insgesamt sehr gute Ergebnisse vorweisen, die auf ein hohes Potential der RapidEye Daten für die Wald-Nichtwaldtrennung hindeuten.

Weitere und geplante Aktivitäten

Auch in 2011 ist für den Herbst wieder ein Workshop geplant, der sich diesmal auf methodische Fragen bei der Auswertung von Fernerkundungsdaten konzentrieren wird. Der Workshop wird voraussichtlich am 26. Oktober in Halle stattfinden, ein entsprechender Rundbrief mit der Einladung wurde bereits an die Mitglieder des Arbeitskreises versandt. Natürlich sind wie immer auch alle interessierten Kollegen aus anderen Arbeitskreisen und Fachorganisationen herzlich eingeladen,

sich an der Vorbereitung und Ausgestaltung dieser Veranstaltung zu beteiligen.

HORST WEICHEL, Potsdam

Bildanalyse und Bildverstehen

Arbeitsgebiete – Terms of Reference

- Geometrische Bildverarbeitung
- Merkmalsextraktion und -nutzung
- Semantische Modellierung

Bericht von der Jahrestagung

Dem Arbeitskreis lag eine größere Anzahl von Beitragsanmeldungen vor, die allesamt für die Publikation im Tagungsband angenommen wurden. Daraus entstanden drei Sitzungen in denen insgesamt neun Beiträge dem Publikum vorgestellt wurden. Inhaltlich spannte sich der Bogen von konzeptionellen Betrachtungen über konkrete algorithmische Fragestellungen bis hin zu Anwenderaspekten und bot damit eine bunte Mischung verschiedener Inhalte.

Den Einstieg in die Präsentationen übernahm STEFAN CAVEGN (FHNW Muttenz), der in seinem Referat *Automatisierte Verkehrszeichenkartierung aus mobil erfassten Stereobilddaten* einen stereo- und farbasierten Lösungsansatz vorstellte, mit dem die automatische Erkennung von Verkehrszeichen möglich ist. Grundlage ist eine Segmentierung anhand von Farbwerten und ein Ebenheitskriterium, das sich auf eine aus dem Stereomodell abgeleitete Tiefenkarte stützt. Die vorgestellten Ergebnisse gehen auf eine Masterarbeit zurück, die mit dem 2. Karl Kraus-Nachwuchspreis ausgezeichnet wurde. Im Folgenden beschäftigte sich ALBERT WIEDEMANN (BSF Swisphoto, Berlin) in seinem Vortrag über *Geometrisches Potential von Schrägbildern aus dem System AOS* mit den Möglichkeiten, im Flugzeug mehrere Kameras mit unterschiedlichen Blickrichtungen simultan einsetzen und zur Generierung geometrisch homogenen Datenmaterials verwenden zu können. Die Untersuchungen zeigten das grundsätzliche Potenzial, sofern die Aerotriangulation diese spezielle Sensorkonfiguration mathematisch berücksichtigt. Anschließend präsentier-

te CHARLOTTE STEINMEIER (WSL Birmensdorf, Schweiz) unter der Überschrift *High Precision Mapping of Green Roofs* Ergebnisse einer Studie, die sich mit der 3D-Rekonstruktion von urbanen Regionen mit Hilfe eines kommerziell erwerblichen Softwaresystems sowie eines publizierten wissenschaftlichen SGM-Algorithmus auseinandersetzte. Es konnte gezeigt werden, dass die eingesetzten Techniken ein realistisches Abbild der untersuchten Stadtregion lieferten und somit auf diesem Weg Inhalte für ein digitales Stadtmodell geliefert werden können. Zum Abschluss der Sitzung trug ELKE KRÄTZSCHMAR (IABG mbH, Ottobrunn) zum Thema *Eine Düne wie die andere, Automationsgestützte Bildanalyse als Maßgabe der Erfassung unterschiedlicher Dünentypen* vor. Das gezeigte Projekt dokumentierte die Schwierigkeit, aus nicht eindeutig abgrenzbaren Bildstrukturen, wie sie beispielsweise bei Dünen gegeben sind, eine reproduzierbare und objektive Aussage ableiten zu können.

Der zweite Tag begann mit einer Sitzung, in der drei Themen präsentiert wurden. JAN SIEGEMUND (Universität Bonn) begann mit der Vorstellung einer Methodik zur automatischen Erkennung von Bordsteinen. In seinem Vortrag *Detektion und Rekonstruktion von Bordsteinen und Strassenoberflächen aus Stereobildfolgen mit Hilfe von Conditional Random Fields* stellte er eine Algorithmik vor, die sich auf Tiefenkarten stützt, die in Echtzeit aus Stereomodellen gewonnen werden, die ein fahrender PKW aufzeichnet. Zur Lösung der Fragestellung und zur Stabilisierung von Detektion und Rekonstruktion werden restriktive Modellannahmen über den horizontalen Verlauf des Bordsteins sowie der Struktur der angrenzenden Oberflächen, wie Straße und Gehweg, eingeführt und mathematisch modelliert. Im Folgenden berichtete FREDIE KERN über *Geometrische Qualität von aus Einzelphotos zusammengesetzten Panoramen*. Panoramen sind mittlerweile eine interessante Informationsquelle, die mit jeder herkömmlichen Kamera aufgenommen und über entsprechende Stitching Verfahren zu einem Gesamtbild zusammengesetzt werden können. Die gezeigten Arbeiten dokumentierten allerdings, dass die geometrische Modellierung innerhalb der Standardverfahren noch verbesserungswürdig

ist und die erwünschte Pixelgenauigkeit noch nicht erreicht wird. Den Abschluss der Sitzung bildete ein Vortrag von CHRISTOPH STRAUB (Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft), der *Möglichkeiten der automatisierten Generierung von Oberflächenmodellen in Waldgebieten aus digitalen Luftbildern* vorstellte. Die Untersuchungen stützten sich auf automatisch generierte Oberflächenmodelle, für die amtliches Luftbildmaterial herangezogen wurde. Durch Abzug der Topographie entstanden Bewuchshöhenmodelle, die als Grundlage für die Waldbewirtschaftung dienen können. Ein Vergleich mit genauen Laserdaten zeigte die Korrektheit der ermittelten Bewuchshöhen und damit die Chancen dieser Vorgehensweise.

Am letzten Tag beschloss die dritte Sitzung des Arbeitskreises die Reihe. JOHANNES SCHNEIDER (Universität Bonn) stellte einen Ansatz zur *Bündelausgleichung für Multikamerasysteme* vor. Dieser Ansatz verwendet Richtungsvektoren anstelle von Bildkoordinaten und euklidischer Objektkoordinaten und erlaubt damit auch die Berücksichtigung von unendlich weit entfernten Punkten sowie die Modellierung für omnidirektionale Kameras. Die im Rahmen einer Studienarbeit erfolgte Implementation setzt die Kenntnis der inneren und gegenseitigen Orientierung der Einzelkameras voraus. Ergebnisse wurden für eine Bildfolge des Multikamerasystems Ladybug3 gezeigt. Daran anschließend berichtete RIBANA ROSCHER (Universität Bonn) über *Logistische Regression für die semantische Segmentierung in der Photogrammetrie und Fernerkundung*. Die logistische Regression gehört zu den diskriminativen Klassifikatoren, die sich durch eine hohe Leistungsfähigkeit in Anwendungen wie die Unterscheidung von Vorder- und Hintergrund auszeichnen. Die sehr weit reichende Einsetzbarkeit des Ansatzes wurde an Beispielen wie der Objektverfolgung in Bildfolgen und der Klassifizierung von Fernerkundungsdaten gezeigt.

Außerdem fand in den diesjährigen Sitzungen eine Übergabe der Arbeitskreisleitung statt. Nach 8-jähriger Tätigkeit hat der bisherige Leiter, FRANK BOOCHS (FH MAINZ), die Führung des Arbeitskreises an UWE WEIDNER (Karlsruhe Institute of Technology) übergeben, der dann auch schon während der Tagung

die Moderation der letzten Sitzung übernommen hat.

UWE WEIDNER, Karlsruhe
& FRANK BOOCHS, Mainz

Fernerkundung in der Geologie

Arbeitsgebiete – Terms of Reference

Die Diskussion im Arbeitskreis soll den interessierten Fachkollegen und auch Fachleuten der wissenschaftlichen Nachbardisziplinen als Forum und Erfahrungsaustausch über den Einsatz neuer Fernerkundungs- und GIS-Entwicklungen vorrangig für geologische Interpretationen dienen. Eine zentrale Rolle spielen Ergebnisse und Erfahrungen mit lokalen und regionalen Strukturinterpretationen (FE – GIS – 3D-Visualisierung), mit geologischen Kartierungen und Lagerstättenprospektionen (Klassifizierung von lithologischen Einheiten, Spektrometrie, hyperspektrale Fernerkundung) sowie Methoden und Strategien zum Monitoring von Naturgefahren (Deformationsprozesse und Massenumlagerungen: Anwendungen für Neotektonik, Erdbeben, Hangrutschungen, Land Subsidence und Karst, Tsunami, Gletscherbewegungen u.a.).

Bericht von der Jahrestagung

Die Sitzung des Arbeitskreises auf der Jahrestagung wurde durch den Vortrag von ULF MALLAST (Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH, Halle) über hoch auflösende flugzeuggestützte Thermalfernerkundung zur Kartierung submariner und terrestrischer Grundwasserquellen in der hochsalinaren Uferzone des Toten Meeres eingeleitet. Die Befliegung erfolgte vorerst am Westufer mit dem digitalen Thermalkamerasystem Infratec VarioCam hr head der BGR und parallel dazu mit einer digitalen RGB-Luftbildkamera. Neben der zu erwartenden Detektion von punktförmigen Quellgebieten an Land und im Uferbereich des Meeres konnten auch flächig-diffuse thermische Anomaliebereiche erfasst werden, die auf anströmendes Grundwasser deuten. Die vorgestellten ersten Ergebnisse dieser erst im Januar 2011 durchgeführten Befliegungen lassen erwarten, dass die Größe

und Verteilung der Grundwasserzuströme zum Toten Meer hiermit erstmals kartiert werden können, was eine unabdingbare Voraussetzung dafür ist, später den Wasserhaushalt des Toten Meeres zu erfassen.

Im zweiten Beitrag stellte THOMAS WIATR (RWTH Aachen) den Einsatz von terrestrischem Laserscanning zur Erfassung des strukturellen Inventars von geologischen Bruchzonen vor. Das Autorenteam des Beitrags „*Störungsflächen: Zeugnisse vergangener Erdbeben*“ untersuchte durch historische Beben aufgeschlossene Störungsflächen (Segmente der 1981 bei Beben reaktivierten Kaparelli-Störung am Golf von Korinth). Hierbei werden die Punktwolken des Scans für eine Rauheitsanalyse der aufgeschlossenen Störungsfläche genutzt. Die Unterschiede in der Degradation (Verwitterung, Verkarstung, Bioerosion) der Fläche ermöglicht, die Flächenanteile zu detektieren, die mit dem zu analysierenden Bebenevent verbunden sind. Zusätzlich ist die Datierung der Flächen über physikalische Altersbestimmung notwendig. Im Kontext mit den anderen geologischen Interpretationsmethoden wird diesen Ergebnissen prinzipielle unterstützende Bedeutung bei der Entschlüsselung von paläoseismischen Events zukommen.

HANS-ULRICH WETZEL (GFZ Potsdam) berichtete über die Ergebnisse von Fernerkundungs- und Geländekartierungen im Bereich des südlichen Oberrheingrabens, von Südschwarzwald und Schweizer Jura. Die Autoren des Beitrages (FRANZKE, WETZEL & MADRITSCH) zeigen, wie aus der Kombination von Lineationskartierungen verschiedener Fernerkundungsdaten mit strukturgeologischen Geländeuntersuchungen und Paläo-Stressanalysen bruchgenetische und kinematische Strukturmodelle die Unterscheidung von duktilen und spröden Verformungsmechanismen sowie die Differenzierung von Bruchzonen in z. B. Blattverschiebungen, Ab-, Auf- und Überschiebungen erfolgt. Die Autoren hatten mit ähnlicher Methodik bereits die nördlichen Teile des Oberrheingrabens und den Schwarzwald vornehmlich zur neotektonischen Charakterisierung bearbeitet. Regionalgeologisch wichtiges Ergebnis ist nunmehr, dass die alpine Kollisionstektonik nach Norden auf den Bereich des Faltenjura/Mittelländisches Mo-

lassebecken und die nach NNE angrenzende Vorfaltenzone des Faltenjura beschränkt bleibt. Diese Tektonik greift nicht nach Norden in den Bereich des südlichen Schwarzwaldes und dessen unmittelbares S und SE-Vorland (Tafeljura) über. Ebenso nehmen die Einflüsse der känozoischen Riftprozesse des Oberrheingrabens nach E ab und klingen an der Wehra-Bruchzone weitgehend aus.

Der vorgesehene vierte Beitrag von MOHAMMAD NOBAKH et al. konnte leider nicht gehalten werden. Hierzu muss deshalb auf den Abdruck des Beitrags im Tagungsband und auf der Tagungs-CD verwiesen werden, auf denen auch die anderen Beiträge des Arbeitskreises verfügbar sind.

Weitere und geplante Aktivitäten

Der Arbeitskreis hat durch die vereinbarte Kooperation mit der Geological Remote Sensing Group (GRSG), einer „Special Interest Group“ der Britischen „Geological Society“ und „Remote Sensing and Photogrammetry Society“ begonnen, den interessierten Fachkollegen auch den erweiterten internationalen Meinungsaustausch zu erleichtern. Informationen dazu finden sich auch auf der Website unserer Gesellschaft.

HANS-ULRICH WETZEL, Potsdam

Hyperspektrale Fernerkundung

Arbeitsgebiete – Terms of Reference

- Innovative Methoden und Verfahren in der hyperspektralen Fernerkundung
- Qualitative und quantitative Probleme der Datenverarbeitung
- Abbildende und nicht-abbildende Spektrometer
- Multimediale Wissenskommunikation und Visualisierung von Forschungsergebnissen

Bericht von der Jahrestagung

Der Arbeitskreis Hyperspektrale Fernerkundung stellte in der Jahrestagung zwei Sessions. Diese boten den Wissenschaftlern optimale Bedingungen für die Darstellung ihrer Forschungsergebnisse und ein Forum für aus-

fürliche Diskussionen. Der erste Vortrag wurde von CHRISTOPH SALBACH (Martin-Luther Universität Halle-Wittenberg) gehalten. Sein Thema ist die Untersuchung von Pioniervegetationen als geochemische Zeigerarten in ehemaligen tschechischen Tagebaugebieten mit Hilfe von abbildenden und nicht-abbildenden Spektrometern. Dabei konnte er erfolgreich das Signal Unmixing für die Problemstellung anwenden. Nicht nur die natürliche Vegetation sondern auch Kulturpflanzen und deren pathologische Veränderungen beschäftigen immer mehr Wissenschaftler in der Landwirtschaft. KAI SCHMIDT (Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn) trug seine Forschungsergebnisse und algorithmischen Entwicklungen auf diesem Gebiet vor und erläuterte seine patentierten Techniken. In unserer Session hat der diesjährige Karl-Kraus-Nachwuchsförderpreisträger MICHAL DENK (Universität Halle-Wittenberg) seine Forschungsarbeit vorgestellt. Diese beschreibt die durch das geochemische Prozessgeschehen bedingten spektralen Veränderungen einer Kalihalde. Der Vortrag war sowohl methodisch als auch inhaltlich sehr anspruchsvoll aufbereitet. ANDRÁS JUNG (SphereOptics GmbH) führte die zweite Session ein und berichtete über das Netzwerkprojekt *White Reference Tour*. Das Projekt konnte seit 2009 mehr als 25 Einrichtungen mit einem Feldspektrometer involvieren und versucht die Aufmerksamkeit der Community auf die Vielfältigkeit der spektralen Messungen und der Spektralbibliotheken zu richten. Die Datengenauigkeit ist auch in der abbildenden Spektroskopie ein zentrales Thema, besonders was die geometrische Korrektur betrifft. JOHANNES PIECHEL (Jade Hochschule Oldenburg) präsentierte seine Ergebnisse im Rahmen des HiReSens Projektes über einen Sensorvergleich (AISA+, Eagle und Hawk) mit der Anwendung auf Dachflächen. Thematisch sehr nahliegend berichtete MICHAEL HAHN (Hochschule für Technik Stuttgart) über die spektrale Identifikation urbaner Oberflächen, wobei sowohl terrestrische und als auch flugzeuggetragene spektrometrische Messungen berücksichtigt und mit verschiedenen Klassifikationsverfahren analysiert wurden. Wir bedanken uns bei allen für die aktive Teilnahme und die vitalen Diskussionen.

Weitere und geplante Aktivitäten

Das Projekt *White Reference Tour* wird weitergeführt und dieses Jahr international erweitert. Nach häufigen Nachfragen wird das Projekt seinen Fokus aufweiten und auch abbildende Systemen in Betracht ziehen.

ANDRÁS JUNG, Halle
& JONAS FRANKE, München

Optische 3D-Messtechnik

Arbeitsgebiete – Terms of Reference

- Nahbereichsphotogrammetrie
- Terrestrisches Laserscanning
- Sensorintegration und Systemkalibrierung
- Aufnahme- und Auswertestrategien
- Prozessorientierte Auswertung und Automation
- 3D-Modellierung

Bericht von der Jahrestagung

Die zwei Sitzungen des Arbeitskreises fanden am 14. und 15. April statt. Die präsentierten acht Beiträge hatten jeweils zur Hälfte ihre Schwerpunkte in der Nahbereichsphotogrammetrie und im terrestrischen Laserscanning. Ca. 70 Teilnehmer nahmen an der ersten Sitzung über Nahbereichsphotogrammetrie teil, während an der zweiten Sitzung über terrestrisches Laserscanning nur ca. die Hälfte der Teilnehmer der ersten Sitzung kamen. Das Programm des Arbeitskreises vervollständigte das Poster von STEVEN PIORUN (Leibniz Universität Hannover/MTU Aero Engines, München) über das Fluoreszenz-Streifenprojektionsverfahren zur geometrischen Erfassung einer Oberfläche eines Objekts.

In der ersten Sitzung präsentierte BENNO SCHMEING (Uni Bonn) eine Trajektorienrekonstruktion aus langen Bildfolgen einer omnidirektionalen Kamera. Dabei wurden die Bilder des Multikamerasystems Ladybug3 von PointGrey zu einer virtuellen Kamera zusammengefasst und für die Bündelausgleichung ein sphärisches Modell verwendet. GPS und IMU lieferten Näherungswerte für die äußere Orientierung der Kamera. Das System liefert eine robuste und in sich konsistente Lösung, aber

die Rechenzeiten müssen noch optimiert werden. PETER HOFMANN (Österreichische Akademie der Wissenschaften, Salzburg) zeigte, wie die 3D-Volumen-Modellierung fossiler Kleinsäugerzähne mittels Mikro-Computertomographie (MCT) und objektbasierter Bildanalyse funktioniert. Während die MCT als bildgebendes Verfahren zur Datenbeschaffung für die zerstörungsfreie Rekonstruktion fossiler Kleinsäugerzähne dient, ermöglicht die objektbasierte Bildanalyse spektrale Merkmale und Formeigenschaften, sowie räumlichen Kontext bei der Analyse dieser Daten zu berücksichtigen. Dadurch können wichtige paläontologische Aspekte am digitalen Voxel-Modell dokumentiert werden. CHRISTIAN MULSOW (TU Dresden) stellte ein System vor, mit dem man eine photogrammetrische Überwachung von Gletscherrandseen mit einer ausreichenden Genauigkeit und Zuverlässigkeit trotz monoskopischer Messungen durchführen kann. Eine Berücksichtigung der Kameraeigenbewegungen und zusätzlicher Daten wie Geländemodell können das System zukünftig optimieren, wobei das Problem der Datenauswertung vor Ort und -übertragung noch nicht gelöst ist. THOMAS KERSTEN (HCU Hamburg) präsentierte am Beispiel der Freien und Hansestadt Hamburg die automatisierte Generierung von historischen 4D-Stadtmodellen für die Darstellung innerhalb der Google Earth Engine. Dafür wurden von zwei virtuellen historischen Modellen ausgehend, die aus Streifenprojektionsdaten eines Holzmodells und aus einer historischen Karte erstellt wurden, weitere Epochen abgeleitet und in Google Earth visualisiert.

In der zweiten Sitzung wurden Beiträge über terrestrisches Laserscanning präsentiert. KATHRIN SCHILLING (FH Mainz) stellte selbst entwickelte Passkörper zur Registrierung von Scandaten sowie zur Fusion von Bild- und Scandaten vor, die im Labor erste erfolgreiche Ergebnisse im Nahbereich lieferten, die aber in der Praxis mit entsprechender Beleuchtungsumgebung noch ausführlich getestet und optimiert werden müssen. Im zweiten Vortrag der FH Mainz präsentierte UWE HUXHAGEN Untersuchungen zum Auflösungsvermögen terrestrischer Laserscanner mittels Böhler-Stern als einen Beitrag zur Erstellung einer Prüfrichtlinie zur Abnahme und Überwa-

chung von terrestrischen Laserscanner-Systemen. Dabei zeigte sich, dass sich der Böhler-Stern für die Untersuchung von Impulslaufzeit-Scannern eignete, während sich bei Phasendifferenz-Scannern nicht erklärbare Offsets ergaben. Im dritten Sitzungsbeitrag stellte THOMAS KERSTEN (HCU Hamburg) mit der 3D-Erfassung, Modellierung und Visualisierung des Kaiserdoms zu Königsutter durch terrestrisches Laserscanning ein praktisches Projekt vor, bei dem ein sehr großes historisches Gebäude von innen und außen durch Geomatik-Studierende detailliert modelliert und visualisiert wurde. Abschließend zeigte STEFFEN SCHELLER (TU Dresden), wie eine bildbasierte kinematische Erfassung von Straßendaten zur Beurteilung von Straßenzuständen (Riss- und Flickstellen, Spurrinnen, Längs- und Querebenheit) genutzt werden kann. Dabei spielt die Integration verschiedener Sensoren und deren Kalibrierung eine Schlüsselrolle, um Daten effizient erfassen zu können.

Insgesamt war das Vortragsprogramm des Arbeitskreises sehr abwechslungsreich und trotz der Oldenburger 3D-Tage, die als jährliches Highlight des Arbeitskreises wenige Wochen vorher stattfanden, mit neun Beiträgen komplett.

Weitere und geplante Aktivitäten

Vom 14.-17. Juni 2011 sind gemeinsame Untersuchungen terrestrischer Laserscanner von Systemherstellern, Hochschulen und Anwendern an der HafenCity Universität Hamburg geplant.

Am 23. Juni 2011 wird als eine Veranstaltung des Arbeitskreises das 4. Hamburger Anwenderforum für terrestrisches Laserscanning an der HafenCity Universität durchgeführt (www.geomatik-hamburg.de/tls/tls2011/).

Am 1. und 2. Februar 2012 werden die 11. Oldenburger 3D-Tage stattfinden, bei denen der Arbeitskreis Optische 3D-Messtechnik als Mitveranstalter mitwirken wird (www.jade-hs.de/3dtage/).

Die beiden Arbeitskreise Sensoren und Plattformen und Optische 3D-Messtechnik planen zusammen mit der Schweizer Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung (SGPF) zukünftig gemeinsame Veran-

staltungen (siehe auch www.3dgi.ch/mm2011/) und ein Projekt im Bereich Mobile Mapping.

THOMAS KERSTEN, Hamburg

Radarfernerkundung und Flugzeuglaserscanning

Arbeitsgebiete – Terms of Reference

- Synthetic Aperture Radar (SAR)
- SAR-Interferometrie und -Polarimetrie
- 3D-Objekterkennung aus Laserscannerdaten
- Vegetationsanalyse aus Laserscannerdaten

Bericht von der Jahrestagung

In diesem Jahr wurde vom Arbeitskreis eine Sitzung mit vier Vorträgen organisiert, die je zur Hälfte die Themenbereiche Radarfernerkundung und Flugzeuglaserscanning behandelten. Den Anfang machte SVEN JANY von der MILAN Geoservice GmbH, Kamenz. Er gab zunächst einen interessanten Überblick über die vielfältigen operationellen Einsatzgebiete des Laserscannings, um im zweiten Teil des Vortrags auf die Überwachung von Altbergaufflächen und geologische Themen zu fokussieren. Danach berichtet ALENA SCHMIDT (Leibniz Universität Hannover) über ihre Untersuchungen zur Erkennung von Wasserflächen in Full-Waveform-Laserscanner-Daten. Es zeigte sich, dass die aus der Signalform abgeleiteten zusätzlichen Merkmale keine wesentliche Verbesserung der Land-Wasser-Trennung ermöglichen. In Zukunft soll das Hauptaugenmerk der Arbeiten auf der Bestimmung von Geländemerkmale trocken gefallener Wattgebiete liegen. Da sich zum Beispiel die Rauigkeit oder die Orientierung von Flächen deutlich in der Signalform ausprägen können, ist durch deren Auswertung ein großer Nutzen zu erwarten.

Deutschland unterliegt umfangreichen Berichtspflichten gegenüber der EU im Hinblick auf die Bereitstellung aktueller Daten über die Landbedeckung und Landnutzung. Das Verbundprojekt DeCover widmet sich der Entwicklung solcher Verfahren, wobei auf Bilder der deutschen Sensoren TerraSAR-X und

RapidEye zurückgegriffen wird. MICHAEL SCHLUND von der Firma Astrium GEO-Information Services stellte einen interessanten Ansatz vor, der basierend auf gegebenen ATKIS- und DLM-Daten anhand aktueller Fernerkundungsbilder Änderungen erkennt. Die Klassifikation von Laub- und Nadelbäumen aus TerraSAR-X-Bildern war das Thema von SONIA ORTIZ (Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg). Da als Referenz Kreisflächen mit einem Durchmesser von nur 25 m dienen, sind möglichst hochwertige Höhenmodelle zur Entzerrung der SAR-Bilder erforderlich. Eine besondere Schwierigkeit ergab sich aus der Tatsache, dass die meisten Referenzflächen durch Mischbewuchs geprägt sind.

Weitere und geplante Aktivitäten

Der aktuelle wissenschaftliche Schwerpunkt der Radarfernerkundung ist die SAR-Interferometrie, wobei Fragen der Gewinnung von Höhenmodellen sowie der Erkennung von Deformationen der Erdoberfläche gleichermaßen von Interesse sind.

Der Sensorverbund der Schwestersatelliten TerraSAR-X und TanDEM-X ist seit Jahresanfang in seine operationelle Phase getreten. Ziel ist es, aus den im Laufe von drei Jahren erfassten SAR-Bildern ein globales Höhenmodell abzuleiten. Die Gesamtmission als solche wird oftmals ebenfalls kurz TanDEM-X genannt. Ähnlich wie bei SRTM im Jahre 2000 bilden beide Systeme zugleich dasselbe Gebiet auf der Erdoberfläche ab (Einmalüberflugmodus), sodass bei den Einzelinterferogrammen keine Störeinflüsse durch zeitliche Änderungen von Atmosphäre und Gelände auftreten können. Zudem soll während der Mission die gesamte Erdoberfläche mehrfach erfasst werden, womit sich Fehler durch Mittelung mehrerer Höhenmodelle verringern lassen.

Beim Flugzeuglaserscanning ist zu erwarten, dass die Auswertung der Signalform der Echos breiteren Raum in der Forschung einnehmen wird, wobei neben der Erkennung und Klassifikation von Bäumen in Wäldern auch die Erfassung städtischer Vegetation und Bathymetrie-Anwendungen an Bedeutung gewinnen.

Schließlich soll auf eine interessante Aktivität der ISPRS-Arbeitsgruppe III/4 *Complex scene analysis and 3D reconstruction* (www.commission3.isprs.org/wg4/) hingewiesen werden: die Gruppe organisiert einen wissenschaftlichen Test, bei dem urbanes Gelände klassifiziert werden soll, und zwar unter anderem basierend auf Flugzeuglaserdaten. Als Klassen sind vorgesehen: Gebäude, Straßen, weitere künstliche Geländeoberflächen, Fahrzeuge, Einzelbäume und niedrige Vegetation. Testdaten liegen für die Gebiete Vaihingen an der Enz (DGPF-Kameratest) und Toronto Innenstadt vor. Für Details sei auf obigen Link verwiesen.

UWE SÖRCEL, Hannover

Sensoren und Plattformen

Arbeitsgebiete – Terms of Reference

- Sensorkonzepte für Anwendungen in der Photogrammetrie und Fernerkundung auf unterschiedlichen Plattformen vom Satelliten bis hin zum Nahbereich
- Kooperation mit den Anwendern/Datennutzern zur anwendungsbezogenen Optimierung der Sensorsysteme und Sensor-komponenten sowie zur Ableitung/Definition neuer Aufgabenstellungen für Sensorsysteme
- Modellierung/Simulation der Sensoren und Aufnahmesysteme auch unter Berücksichtigung der Auswertelgorithmen zur Objekt- und der Dateninterpretation
- Kalibrierung und Validierung von Sensorsystemen und erfassten Daten einschließlich der Dokumentation der jeweiligen Charakteristiken im Hinblick auf die vorgesehenen Anwendungen

Bericht von der Jahrestagung

Ein fast schon traditioneller Schwerpunkt des Arbeitskreises Sensoren und Plattformen sind das Design und die Leistungsfähigkeit großformatiger digitaler Luftbildkameras. Auch aus diesem Grund wurde die erste Sitzung des Arbeitskreises während der Jahrestagung durch drei Beiträge eröffnet, die den Stand derzeitiger Kameraentwicklungen dokumen-

tieren. Zum einen beinhaltet dies die Konsolidierung bisheriger Ansätze zur Kombination von Teilbildern zu großformatigen virtuellen Bildern. Das dabei mittlerweile erreichbare hohe Genauigkeitspotential wurde sowohl im Vortrag *IGI DigiCAM: Systemdesign und Anwendungen* von JENS KREMER als auch im Beitrag von RICHARD LADSTÄDTER, Vexcel Imaging GmbH, zum *Optimalem Stitching-Verfahren für Multi-Sensor basierte Luftbildkameras* deutlich. Demgegenüber besitzt die von KARSTEN JACOBSEN (Leibniz Universität Hannover) untersuchte DMC II 140 nur noch eine panchromatische Teilkamera mit einem großen CCD-Chip. Da in diesem Fall keine Kombination von Teilbildern mehr notwendig ist, werden so eventuell genauigkeitsmindernde Effekte vermieden.

Insgesamt werden von allen in den Beiträgen vorgestellten Systemen sehr hohe geometrische Genauigkeiten erreicht. Dieses Genauigkeitspotential ist unter anderem dann von erheblichem Interesse, wenn im weiteren Verlauf der photogrammetrischen Bildauswertung automatisch Digitale Oberflächenmodelle erzeugt werden. Die dabei mittlerweile erreichte große Leistungsfähigkeit von Verfahren zur photogrammetrischen Oberflächenrekonstruktion wurde in den zwei Beiträgen zu Beginn der zweiten Sitzung des Arbeitskreises deutlich. TILMAN BUCHER stellte dies in seinem Vortrag *Hochauflösende Oberflächenmodelle und True Ortho Photos aus digitalen Luftbildkameras: die Entwicklung anhand von Beispielen der letzten 10 Jahre* insbesondere anhand von Projekten des DLR exemplarisch dar. Die Leistungsfähigkeit des von HEIKO HIRSCHMÜLLER, einem der Mitautoren dieses Beitrags entwickelten SGM-Stereobildzuordnungsverfahrens wurde auch im Beitrag zum *Potential dichter Bildzuordnung für die Erzeugung von Höhenmodellen* von MATHIAS ROTHERMEL (Universität Stuttgart) deutlich. Anhand von Daten des DGPF-Projekts zur Evaluierung digitaler Luftbildkameras konnte dabei die mögliche Qualitätssteigerung der Höhenmodelle durch intelligente Kombination unterschiedlicher Stereomodelle demonstriert werden.

Die Nutzung und Entwicklung unbemannter Luftfahrzeuge für photogrammetrische Anwendungen bilden einen weiteren traditio-

nellen Schwerpunkt der Gruppe Sensoren und Plattformen und waren folglich auch Thema zweier Beiträge in den Sitzungen der Arbeitsgruppe. RALF GEHRKE (Fachhochschule Frankfurt am Main) untersuchte dabei in seinem Beitrag zu *Sensoren zur kleinformatigen Aerophotogrammetrie mit UAV* die geometrische Stabilität und Abbildungsqualität von digitalen Kleinbildkameras und wie sie im Hinblick auf die stark beschränkte Nutzlast solcher Trägerplattformen zum Einsatz kommen. In dem Beitrag *UAV und Range Imaging*, den PHILIPPE NIQUILLE, Swiss-UAV, gemeinsam mit der ETH Zürich vorlegte, wurde weiterhin deutlich, dass UAV auch als Trägerplattform für alternative Sensoren eingesetzt werden können.

Die Präsentationen der Arbeitsgruppe Sensoren und Plattformen wurden darüber hinaus in einer gemeinsamen Sitzung mit dem Arbeitskreis Standardisierung und Qualitätssicherung abgerundet, in denen die radiometrische Qualität optischer Fernerkundungssensoren im Mittelpunkt stand. Diese wurde im Beitrag *zur Bewertung von Weltraumkameras* von RALF REULKE, Berlin, als auch im Vortrag *zur Abschätzung des effektiven Dynamikbereichs von digitalen Aufnahmen am Beispiel des Testflugs Vaihingen/Enz* von OTTO KÖLBL, Lausanne dokumentiert. Die *Untersuchungen zum Einfluss der Panschärfung auf Punktextraktion und Segmentierung* von UWE WEIDNER, Karlsruhe bildeten den Abschluss dieser gemeinsamen Sitzung.

Weitere und geplante Aktivitäten

Auch ermutigt durch den großen Erfolg des DGPF-Projekts zur Evaluierung digitaler photogrammetrischer Luftbildkamerasysteme ist derzeit ein ähnliches Projekt im Bereich Mobile Mapping geplant. Diese Aktivitäten sollen gemeinsam mit dem Arbeitskreis Optische 3D-Messtechnik der DGPF und der Schweizerischen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung (SGPF) stattfinden. Nähere Informationen hierzu folgen in Kürze.

NORBERT HAALA, Stuttgart

Standardisierung und Qualitätssicherung

Bericht von der Jahrestagung

In der Sitzung des Arbeitskreises gab es vier Präsentationen, die folgende Themen beinhalten: Qualitätsstandards in der Architekturvermessung, Normungsvorhaben DIN 18740-6 Anforderungen an digitale Höhenmodelle, Bewertung von Weltraumkameras, sowie ein Statusbericht zur ISO-Standardisierung in Photogrammetrie und Fernerkundung.

LARS SÖRENSEN von der Firma Scan3D in Berlin zeigte sehr detailliert und anschaulich, dass in der Architekturvermessung die bestehenden Normen und technischen Hinweise auf 2D-Pläne ausgerichtet sind und daher nicht den Anforderungen der modernen optischen 3D-Messtechnik und 3D-Modellen gerecht werden. Die Ausführungen enthielten interessante Anregungen für ein mögliches neues Normungsvorhaben des DIN.

SVEN BALTRUSCH vom Landesamt für innere Verwaltung Mecklenburg-Vorpommern (Nachfolger des Landesvermessungsamtes) stellte das Normungsvorhaben DIN 18740-6 vor, das in diesen Monaten mehrfach in Fachkreisen vorgestellt wurde und wird, um den Normungsbedarf der Praxis an digitalen Höhenmodellen auszuloten. Der interessante Vortrag diente vor allem der Sensibilisierung für das Thema und der Gewinnung weiterer Mitstreiter im Normungsausschuss.

RALF REULKE vom DLR, Einrichtung für Optische Informationssysteme, in Berlin-Adlershof, beanstandete das Fehlen von einfachen und handhabbaren Qualitätsparametern zur Beurteilung von optischen Satellitendaten und schlug als Kern das Signal-Rausch-Verhältnis, die Point-Spread-Function und die Ground Sample Distance vor. Der Bedarf an einem Standard ist dringend, weil auf dem Markt immer mehr Angebote zu finden sind, deren Datenqualität sehr unterschiedlich und für die meisten Anwender nicht überschaubar ist.

WOLFGANG KRESSE stellte als Leiter des Normungsprojektes ISO/TS 19159 *Calibration and Validation of Remote Sensing Imagery Sensors and Data* den Arbeitsstand vor. Das breit angelegte Projekt wird zur besseren

Handhabbarkeit nach Sensortypen geteilt, wobei der Normteil 1 für optische Sensoren noch in diesem Jahr abgeschlossen werden soll. Wesentliche Inhalte für diese internationale

Norm wurden von EuroSDR, vom DLR und vom USGS beigesteuert.

WOLFGANG KRESSE, Neubrandenburg

Mitteilungen der DGPF

32. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) e.V. vom 14.–16. März 2012 in Potsdam

Vorankündigung und Call for Papers

Die 32. *Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF* wird vom **14. bis 16. März 2012** in Potsdam im Hasso Plattner Institut stattfinden.

Um allen Interessierten genügend Planungszeit zu geben, laden wir Sie hiermit zu Vorträgen in den Sitzungen der Arbeitskreise, zu Poster-Präsentationen und zur Firmenausstellung ein. Sollten Sie weitere Anregungen zur Tagung 2012 geben wollen, bitten wir um entsprechende Vorschläge an die Präsidentin.

Es ist vorgesehen, rechtzeitig zur Tagung einen Tagungsband und eine Tagungs-CD herzustellen. Für die Anmeldung der Abstracts, das Einreichen der Beiträge und die Anmeldungen zur Tagung kommt das bei der 31. Tagung erstmals eingesetzte Konferenzverwaltungssystem *ConfTool* wieder in vollem Umfang zum Einsatz. Das Einreichen der Abstracts und der Beiträge ist damit nur noch über diese Online-Plattform möglich. Der Zugang zum ConfTool ist über einen Link von der Homepage der DGPF aus bereits ermöglicht.

Für die Einreichungen gibt es folgenden Zeitplan:

- **10. November 2011:** Abgabefrist der Abstracts für Beiträge und Poster im Umfang von maximal 300 Wörtern direkt über das ConfTool (Link siehe www.dgpf.de).
- **18. Dezember 2011:** Mitteilungen an die Autoren zur Akzeptanz des vorgeschlagenen Beitrages/Posters.

- **20. Januar 2012:** Redaktionsschluss für die Einreichung der Manuskripte und Poster entsprechend der Autorenhinweise. Die eingereichten Beiträge von zur Tagung angemeldeten Autoren werden in den Tagungsband und in die Tagungs-CD aufgenommen. Ende des Frühbucher-Rabatts.

Ausschreibung des Karl Kraus-Nachwuchsförderpreises 2012

durch die Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF), die Österreichische Gesellschaft für Vermessung und Geoinformation (OVG) und die Schweizerische Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung (SGPF).

Zielsetzungen

Der Nachwuchsförderpreis ist ein Preis zur Förderung des wissenschaftlich-technischen Nachwuchses auf den Gebieten der Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation sowie ihrer Nachbarbereiche. Durch den Förderpreis sollen herausragende Diplom-, Bachelor- oder Masterarbeiten ideell gewürdigt, finanziell honoriert und einer größeren Öffentlichkeit bekannt gemacht werden. Außerdem wird die besondere fachliche Qualifikation der Preisträger herausgestellt.

Vergabe des Preises

Der Nachwuchsförderpreis besteht in drei Stufen jeweils aus einem Preisgeld und einer Urkunde. Die Verleihung des Preises erfolgt grundsätzlich im Rahmen der Wissenschaftlich-technischen Jahrestagungen der DGPF, Ausnahmen hiervon sind aber möglich.

Die Preisträger erhalten die Möglichkeit, ihre Arbeit im Rahmen der Jahrestagung in einem mündlichen Vortrag zu präsentieren. Die Preisträger sowie die Kurzbeschreibungen der prämierten Arbeiten werden in den offiziellen Organen sowie den Internetseiten der DGPF, OVG sowie SGPBF vorgestellt.

Die Preisgelder betragen pro Nachwuchsförderpreis

1. Preis: € 2000,-
2. Preis: € 1500,-
3. Preis: € 1000,-

Zudem erhalten alle Preisträger eine freie, einjährige Mitgliedschaft in der Gesellschaft, die das Land des jeweiligen Hochschulstandortes repräsentiert.

Über die Vergabe des Preises entscheidet eine unabhängige Jury. Diese Jury besteht aus drei Mitgliedern, wobei die beteiligten Gesellschaften mit jeweils einem Mitglied vertreten sind.

Teilnahmebedingungen

Teilnahmeberechtigt am Wettbewerb sind Studierende der Fachrichtungen Vermessungswesen (Geodäsie), Geoinformatik, Geographie, Geologie, Informatik, Messtechnik und anderer technisch-naturwissenschaftlicher Studiengänge an einer Hochschule in Deutschland, in Österreich oder der Schweiz, in denen Diplom-, Bachelor-, oder Masterarbeiten zu den oben beschriebenen Themengebieten erarbeitet werden können. Studierende von Universitäten und Fachhochschulen nehmen gleichberechtigt am Wettbewerb teil.

Die eingereichten Arbeiten müssen eigenständig durchgeführte Forschungs- bzw. Entwicklungsarbeiten darstellen. Titel und Fokus des Posters müssen mit denen der Abschlussarbeit identisch sein.

Die Arbeit ist in Form eines Posters zu präsentieren (1 Seite). Dabei ist auf eine außenwirksame, leicht verständliche Darstellung der technischen Inhalte zu achten. Das Poster ist für das Ausgabeformat DIN A0 (hochkant) zu konzipieren und im PDF-Format abzugeben. Die PDF-Datei ist darauf zu prüfen, dass sie auf anderen Systemen korrekt gelesen und dargestellt wird.

Dem Poster ist eine Kurzbeschreibung von einer Seite Umfang beizufügen, welche die wesentlichen Inhalte und Ergebnisse der Ar-

beit beschreibt. Jeder eingereichten Arbeit ist eine Bewertung des betreuenden Hochschullehrers beizufügen, aus der die besondere Qualität der Arbeit hervorgeht. Sämtliche Unterlagen sind mit Namen des Bewerbers, Hochschule, Fachrichtung und Anschriften (Privatadresse und Email-Adresse) zu versehen.

Grundsätzlich sollen die eingereichten Unterlagen in deutscher Sprache verfasst sein. In Ausnahmefällen werden aber auch englischsprachige Unterlagen akzeptiert.

Alle Bewerbungsunterlagen sind in digitaler Form per e-mail (max. 10 MB) oder auf CD einzureichen.

Der Abschluss der Arbeiten darf nicht länger als ein Jahr zurückliegen.

Zum Wettbewerb können Arbeiten von einzelnen Personen oder von Gruppen bis maximal drei Personen eingereicht werden.

Die Arbeiten müssen unter Angabe von

- Titel, Vor- und Zuname,
- Geburtsdatum,
- Anschrift,
- Telefon und
- e-mail Adresse

bis zum **1. November 2011** bei der Geschäftsstelle der DGPF abgegeben werden:

DGPF e.V.

c/o EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH

Oststraße 2-18

D-48145 Münster

e-mail: geschaeftsstelle@dgpf.de

Mit der Bewerbung um den Nachwuchsförderpreis werden die Vergabebedingungen anerkannt. Die Entscheidungen der Jury sind nicht anfechtbar.

Weitere Auskünfte

- Deutschland (DGPF): Prof. Dr. GÖRRES GRENZDÖRFFER, Universität Rostock, Professur für Geodäsie und Geoinformatik e-mail: gorres.grenzdorffer@uni-rostock.de
- Österreich (OVG): Ass.-Prof. Dr. VIKTOR KAUFMANN, Technische Universität Graz, Institut für Fernerkundung und Photogrammetrie e-mail: viktor.kaufmann@tugraz.at
- Schweiz (SGPF): Dr. KIRSTEN WOLFF, Bundesamt für Landestopografie (swisstopo) e-Mail: kirsten.wolff@swisstopo.ch

Neue Mitglieder der DGPF

Als neue Mitglieder begrüßt die DGPF:

Dr.-Ing. GIYAS AL-KHOURI, Damaskus, Syrien
Dipl.-Ing. (FH) FOLKMAR BETHMANN, Oldenburg

FLORIAN BEYER, Halle

Dipl.-Geoökologe ANDREAS BRAUN, Karlsruhe

Dipl.-Ing. MARTINA BRAUNE, Potsdam

B.Sc. JAN MICHAEL BREUER, Castrop-Rauxel

B.Sc. MARTHA CIESLAR, Ostbevern

Prof. Dr. rer. nat. habil. JÜRGEN DÖLLNER, Potsdam

MARTIN DRAUSCHKE, München

B.Sc. TANJA EKKEL, Oldenburg

Dr. JONAS FRANKE, München

M.Sc. RALF GEHRKE, Frankfurt a.M.

B.Sc. TANJA GRAEGER, Hamburg

Dipl.-Ing. DIRK GRAPENGIESSER, Potsdam

B.Sc. MARTINA GROSSE-SCHWIEP, Ahaus

B.Sc. MARTIN HAAG, Berlin

Dipl.-Ing. ANDRÉ HENN, Roßbach/Wied

B.Sc. KATRIN HUCKE, Vechta

Dipl.-Ing. ROBERT KADEN, Dresden

Prof. Dr.-Ing. FREDIE KERN, Mainz

CHRISTOPHER KIRSCHBERG, Herten

M.A. UNDINE LIEBERWIRTH, Berlin

M.Eng. ANDREAS MARBS, Runkel

B.Sc. MICHAEL MARZ, Halle

M.Sc. CLAUS NAGEL, Berlin

Prof. AMMATZIA PELED, Haifa, Israel

B.Sc. JANNA PILINSKI, Oldenburg

Dipl.-Ing. DENIS SALOW, Berlin

Prof. Dr. MICHAEL SCHAEPMAN, Zürich, Schweiz

M.Sc. ALENA SCHMIDT, Hannover

ELENA SCHREIBER, Augsburg

B.Sc. KRISTIN SCHREYER, Hamburg

M.Sc. SILVIJA STANKUTE, Berlin

Dipl.-Geoökologin ULRIKE STURM, Karlsruhe

Dipl.-Ing. MARTIN WEINMANN, Karlsruhe

M.Sc. DANIEL WUJANZ, Berlin

Neue Korporative Mitglieder – Hochschulen:

Martin-Luther-Universität Halle Wittenberge,

FG Geofernerkundung, Halle (Saale)

TU Berlin, Institut für Geodäsie und Geoin-

formationstechnik, Berlin

Neue Korporative Mitglieder – Firmen:

RIEGL Laser Measurement Systems GmbH,

Horn, Österreich

Berichte von Veranstaltungen

Tagung „Geomonitoring“ vom 3.–4. März 2011 in Clausthal- Zellerfeld

Am 3. und 4. März 2011 fand in Clausthal-Zellerfeld die Auftaktveranstaltung einer neuen Tagungsreihe namens „*Geomonitoring*“ statt, die vom Institut für Geotechnik und Markscheidewesen der TU Clausthal, dem Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der TU Braunschweig und dem Institut für Photogrammetrie und GeoInformation der Leibniz Universität Hannover ausgerichtet wird. Inhaltlich soll die Überwachung geometrischer

Veränderungen von natürlichen und künstlichen Objekten im Vordergrund stehen. Die Tagungsreihe versteht sich als interdisziplinäres Forum für Vertreter der Wissenschaft, Verwaltung und Industrie aus den Bereichen Geodäsie, Geologie, Geophysik, Bauingenieurwesen, Energie und Rohstoffe.

Die Veranstaltung gliederte sich in fünf thematisch gruppierte Sitzungen mit 16 Vorträgen, von denen im Folgenden eine Auswahl herausgegriffen wird. Prof. HANS-JOACHIM KÜMPEL, Präsident der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, berichtete in der Auftakt Sitzung über Möglich-

keiten zur „Verringerung von Georisiken durch Geomonitoring“. Gegenstand der zweiten Sitzung war die „satellitengestützte Radarinterferometrie“, in deren Rahmen der erste von insgesamt zwei längeren Übersichtsvorträgen angesetzt war, in diesem Fall von Prof. RAMON HANSEN, TU Delft. Er erläuterte die Methode der Messung von Bodenbewegungen mittels satellitengestützter Radarinterferometrie aus geodätischer Sicht umfassend und allgemeinverständlich. Die dritte Sitzung widmete sich Fragen der „Modellierung und Sensornetzen“. Z.B. trug Prof. HANS-JÖRG KUTTERER, Leibniz Universität Hannover, sehr klar und anschaulich zum Thema „Kombinierte Modellierung und Analyse heterogener geodätischer Daten“ vor. Am zweiten Tag fanden die verbleibenden beiden Sitzungen statt, deren erste die neue Technik des terrestrischen Radars für Überwachungsaufgaben behandelte. Hierzu gab es auch den zweiten sehr gelungenen Übersichtsvortrag, diesmal von Prof. MICHELE CROSETTO vom Institut de Geomatica in Castelldefels bei Barcelona, Spanien. Schließlich rundete eine Sitzung über „Hang- und Böschungsmonitoring“ die Tagung fachlich ab, unter anderem mit einem Beitrag aus der Praxis von WERNER GUDER, RWE Power AG, der die „Überwachung von Tagebaurandböschungen am Beispiel des Tagebaus Hambach“ mittels terrestrischem Laser sowie Radar vorstellte.

Für eine neue Veranstaltung war der rege Zuspruch durch etwa 150 Teilnehmer aus Forschung und Praxis sehr beachtlich. Ebenso erfreulich waren die zum Teil lebhaften Fachdiskussionen nach den Vorträgen sowie in den Pausen: Letztere boten den Besuchern auch die Gelegenheit, sich im Rahmen einer kleinen Firmenausstellung (Leica Geosystems, DMT sowie Milan Geoservice) zu informieren. Alles in allem kann die Tagung als Erfolg angesehen werden, was die Veranstalter darin bestärkt hat, sie in Zukunft fortzusetzen, wobei zwischen den drei Standorten rotiert werden soll. Die nächste Tagung wird 8.–9. März 2012 in Braunschweig stattfinden. Weitere Informationen finden sich im Internet unter www.geo-monitoring.org.

UWE SÖRGEL, Hannover

GRSS/ISPRS Joint Conference – Joint Urban Remote Sensing Event (JURSE 2011) vom 11.–13. April 2011 in München

Die Konferenz „JURSE 2011“ fand vom 11.–13. April 2011 in München statt und wurde vom Fachgebiet Photogrammetrie & Fernerkundung der TU München organisiert. Nunmehr zum dritten Mal firmierte der „Joint Urban Remote Sensing Event“ von ISPRS und IEEE-GRSS unter diesem Namen als Kombination der früheren „Remote Sensing and Data Fusion Over Urban Areas“ (URBAN) sowie „Remote Sensing of Urban and Suburban Areas“ (URS). Im *Call for Papers* der JURSE 2011 riefen die Veranstalter U. STILLA (Technische Universität München), P. GAMBA (University of Pavia), C. JÜRGENS (Ruhr-Universität Bochum) und D. MAKTAV (Istanbul Technical University) zum ersten Mal in der Geschichte des „Joint Urban Remote Sensing Event“ dazu auf, Beiträge als vierseitige *Full Paper* einzureichen. Daraufhin wurden 147 Manuskripte eingereicht, die jeweils mindestens von drei Gutachtern bewertet wurden. Insgesamt wurden so für die JURSE 2011 411 Reviews durchgeführt. Zusätzlich waren, wie schon bei den vorherigen JURSEs 2007 in Paris und 2009 in Shanghai, Studenten aufgerufen, ihre Forschungsergebnisse zu einem *Student Paper Contest* einzureichen. Die zehn besten der insgesamt 27 eingereichten *Student Papers* wurden in extra integrierten *Student Sessions* vorgetragen, woraufhin eine Jury (bestehend aus den *Conference Chairs*) die drei besten kürte und mit einem von C. JÜRGENS gespendeten Buchpreis belohnte. Allen zehn Teilnehmern des *Student Contests* wurde die Konferenzteilnahme inkl. Unterbringung gesponsert und eine Teilnahmeurkunde ausgehändigt. Insgesamt konnten somit 70 Beiträge als orale Präsentationen und 47 Beiträge für eine interaktive Postersession berücksichtigt werden. Alle angenommenen Beiträge wurden den Teilnehmern der Konferenz auf einer CD ausgehändigt; zusätzlich wurden alle letztendlich präsentierten Papiere bei IEEE Xplore (ieeexplore.ieee.org) veröffentlicht. Insgesamt wurden Beiträge von Autoren aus 34 Ländern eingereicht, wovon schließlich

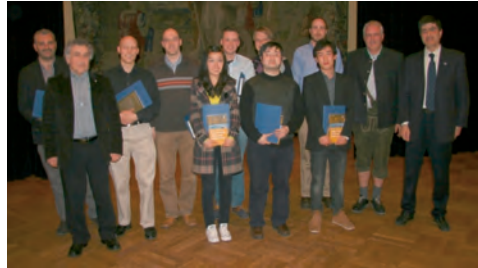
103 Artikel von Autoren aus 27 Ländern publiziert werden konnten.

Eröffnet wurde die Konferenz mit der Begrüßung durch U. STILLA. Die Vizepräsidentin der TU München, L. MENG gab einen Überblick über die wissenschaftliche Arbeit an der TUM. Darauf folgten die Eröffnungsreden von J. BENEDIKTSSON (Präsident der IEEE-GRSS) und I. DOWMAN (Erster Vizepräsident der ISPRS). Das Programm der JURSE 2011 unterteilte sich in 14 parallel abgehaltene Sessions, einer *Plenary Session* mit zwei Vorträgen und eine interaktive Postersession. Den Anfang machte, parallel zur Session „*Data fusion*“ (geleitet von M. EHLERS) die Session „*Vehicle and traffic monitoring*“ (geleitet von J. BENEDIKTSSON und S. HINZ), in der Beiträge zur Detektion, Verfolgung und Geschwindigkeitsabschätzung von Fahrzeugen in optischen und LiDAR-Daten präsentiert wurden.

Nach dem Mittagessen moderierten I. DOWMAN und E. MICHAELSEN die Session zum Thema „*Feature Extraction*“, während P. GAMBA und C. JÜRGENS zur ersten Student Session aufriefen. Die Bandbreite der vorgestellten Arbeiten reichte von der Klassifikation städtischer Oberflächen mittels LiDAR und optischen Fernerkundungsdaten (T. TOOKE bzw. H. THUNIG) über die Überwachung von Deformationen mittels SAR-Daten (L. WEI) bis hin zur Vorstellung einer neuen Methode zur Bildung kohärenter Datenstapel aus hoch auflösenden TerraSAR-X-Daten im Hinblick auf SAR-Tomographie (Y. WANG).

Der erste Tag der Konferenz wurde durch die zweite Student Session (geleitet von U. STILLA und D. MAKTAV) und die Session „*Interferometry and its applications*“ (moderiert von R. BAMLER und D. RICCIO) SAR-lastig beendet. Die Beiträge der Student Session beschäftigten sich mit radarbasierter Landbedeckungskartierung und Klassifikation (X. NIU bzw. S. UHLMANN), der Detektion heller Linien in SAR-Daten (P. BRETT) sowie der Abschätzung von Fluthöhen mittels einzelner SAR-Aufnahmen (P. IERVOLINO). Mit der Präsentation von D. REALE wurde zum zweiten Mal eine Studentenarbeit zum hochaktuellen Thema SAR-Tomographie vorgestellt. In der Interferometrie-Session reichte die Bandbreite währenddessen von höchst auflösendem Multi-Aspect Flugzeug-SAR (M. SCHMITT) über

hoch auflösende Satelliten-Interferometrie (C. ROSSI) bis hin zu Persistent Scatterer Interferometrie in drei bzw. vier Dimensionen (S. AUER bzw. S. GERNHARDT).



Konferenzorganisatoren mit den Preisträgern des Student Paper Contest.

Dass viele der Poster schon während des an diesem ersten Abend statt findenden *Icebreakers* angebracht waren, ermöglichte bereits erste tiefgehende Diskussionen.

Der zweite Tag der JURSE 2011 begann mit der von P. GAMBA moderierten Plenarsitzung mit den eingeladenen Vorträgen von J. BENEDIKTSSON, der über die Klassifikation urbaner Fernerkundungsbilddaten mittels mathematischer Morphologie referierte, und M. RUMOR, der 40 Jahre urbanes Datenmanagement Review passieren ließ.



Konferenzdinner im Münchner Künstlerhaus.

Das parallele Vortragsprogramm ging danach mit der von Y. BAN und P. GAMBA geleiteten Special Session „*Dragon II*“ weiter, mit der eine in Shanghai 2009 begonnene Tradition fortgeführt wurde. Parallel dazu fand die Session zu „*Change Detection*“ (Leitung: D. MAKTAV und M. NETZBAND) statt, die einen Überblick über den Stand der Technik der Veränderungsdetektion in Stadtgebieten mit

deutlichen Schwerpunkt auf optischen Satellitendaten gab.

Nach der Mittagspause war dann bis in den Nachmittag hinein Zeit für intensive Diskussionen auf der abwechslungsreichen Postersession, die besonders viele Beiträge zu den Themen SAR, Datenfusion und Veränderungsdetektion sowie Klassifikation enthielt. Aber auch das Thema Klima sowie Präsentationen zu verschiedenen Fernerkundungsstudien über urbanen Gebiete kamen nicht zu kurz.

Der Nachmittag des zweiten Konferenztages wurde von der eingeladenen Session „*PSI and SAR Tomography*“ (geleitet von G. FORNARO und R. BAMLER), zu der parallel die Session „*Urban mapping*“ (geleitet von F. ROTTENSTEINER) stattfand, beschlossen. Drei der fünf Vorträge gaben einen Einblick in aktuelle Forschungsergebnisse zur SAR-Tomographie mittels hoch auflösenden Satellitendaten (X. ZHU, G. FORNARO bzw. F. LOMBARDINI), während sich die anderen beiden mit der Gruppierung von Persistent Scatterern mit Hilfe von Phaseninformationen (A. SCHUNERT) sowie der Gebäudekantendetektion in Amplituden- und Phasenbildern (G. FERRAIOLI) beschäftigten.

Der letzte Tag der Konferenz bestand noch einmal aus zwei mal zwei parallelen Sessions. Den Anfang machte die eingeladene Session „*VHR Radar*“ (Leitung: U. SÖRGEL, F.

DELL'ACQUA), bei der der Schwerpunkt auf SAR-gestützter Katastrophen-Reaktion lag. Zusätzlich stellten H. SPORTOUCHE und J. WEGNER jeweils ihre Ansätze zur Gebäuderekonstruktion aus hoch auflösenden SAR-Amplitudendaten vor. In der Session „*Classification methodologies*“ (moderiert von H. TAUBENBÖCK und D. TUIA) ging es währenddessen um Methoden zur Klassifikation urbaner Gebiete in Fernerkundungsdaten.

Den Schluss der Konferenz bildeten die beiden Sessions „*Thermal spectroscopy*“ (moderiert von A. PLAZA und L. HOEGNER), sowie „*Mapping socio-economic features*“ (moderiert von C. JÜRGENS und A. SIEGMUND), bevor es – für München typisch – für alle Teilnehmer Bier vom Fass zum Abschied gab.

Zusammenfassend kann auf eine gelungene Konferenz zurückgeblückt werden, die einen umfassenden Überblick über den Stand der Technik in der urbanen Fernerkundung geben konnte. Dabei waren die einzelnen Sessions stets gut besucht und auch das Konferenzdinner im Münchner Künstlerhaus kann als voller Erfolg verzeichnet werden. Besonders der Auftritt traditioneller Alphornbläser aus dem bayrischen Oberland wird den knapp 200 Teilnehmern der JURSE 2011 wohl in Erinnerung bleiben.

Festzuhalten bleibt zudem, dass der 2011 für die JURSE neu eingeführte *Full Paper Re-*



Konferenzteilnehmer der JURSE 2011 an der TU München.

view geholfen hat, das Niveau der Veranstaltung weiter anzuheben. Insbesondere auffällig war heuer außerdem die hohe Anzahl an qualitativen methodischen Beiträgen zur SAR-Fernerkundung, auch wenn die entsprechenden Sessions meistens etwas weniger Zuhörer anziehen konnten als die parallel verlaufenden Alternativen.

Das vollständige Vortragsprogramm, eine Photogalerie sowie einen *Call for Papers* für eine der JURSE gewidmete Spezialausgabe des IEEE J-STAR Journals findet sich im Internet unter www.jurse2011.tum.de. Die nächste JURSE wird 2013 in São Paulo (Brasilien) stattfinden.

MICHAEL SCHMITT, München

Hochschulnachrichten

Technische Universität Dresden

Herr Dipl.-Ing. (FH) TOBIAS LUNG promovierte am 14.7.2010 am Institut für Kartographie der Technischen Universität Dresden mit der Arbeit „*Assessing Processes of Long-Term Land Cover Change and Modelling their Effects on Tropical Biodiversity Patterns – A Remote Sensing and GIS-Based Approach for three Landscapes in East Africa*“ zum Dr.-Ing.

1. Gutachter: Prof. Dr. MANFRED BUCHROITHNER, TU Dresden, Institut für Kartographie,
2. Gutachter: Prof. Dr. GERTRUD SCHAAB, Hochschule Karlsruhe - Technik und Wirtschaft, Fakultät für Geomatik

Kurzfassung

Die Arbeit beschreibt die Prozessierung und Analyse von Fernerkundungs-Zeitreihendaten für eine vergleichende Abschätzung von Veränderungen verschiedener tropischer Waldökosysteme Ostafrikas. Um Effekte der Veränderungen bzgl. Landbedeckung und Waldfragmentierung auf Biodiversitätsmuster abzuschätzen, wurden verschiedene räumlich explizite Modellierungssätze innerhalb eines geographischen Informationssystems (GIS) zur räumlichen und zeitlichen Extrapolation biologischer Felderhebungsdaten benutzt. Die Visualisierung der Analyse- und Modellierungsergebnisse erfolgte unter Berücksichtigung der Bedürfnisse von drei verschiedenen Nutzergruppen.

Um Waldschutzmaßnahmen zu evaluieren und Empfehlungen für ein effektives Waldmanagement abzuleiten, sind quantitative Abschätzungen von Landbedeckungsverände-

rungen sowie von deren Einfluss auf tropische Waldbiodiversitätsmuster nötig. Wenige fernerkundungsbasierte Studien haben jedoch bislang alle der folgenden Faktoren berücksichtigt: (i) Informationen zu Veränderungen von Landbedeckung und Waldfragmentierung in dichter zeitlicher Sequenz, (ii) die Abdeckung mehrerer Jahrzehnte, (iii) die Unterscheidung zwischen mehreren Waldformationen, und (iv) direkte Vergleiche von unterschiedlichen Fallstudien. Hinsichtlich Verknüpfungen von Fernerkundung mit biologischen Felddaten sind bisher keine Studien bekannt, die Zeitreihendaten für quantitative Aussagen zu Langzeitveränderungen von Biodiversität auf Landschaftsebene verwenden.

Die Arbeit untersucht drei offiziell geschützte Gebiete: die Kakamega-Nandi Forests in Westkenia (Hauptuntersuchungsgebiet) sowie Mabira Forest in Südost-Uganda und Budongo Forest in West-Uganda (zu Vergleichszwecken). Es wurden Landsat-Daten für insgesamt acht bzw. sieben Zeitpunkte zwischen 1972/73 und 2003 in ungefähr gleichen Abständen erworben. Mit Hilfe von überwachten, multispektralen Klassifizierungsverfahren wurden für die Kakamega-Nandi Forests und Budongo Forest jeweils 12 Landbedeckungsklassen (sechs Waldformationen) und für Mabira Forest zehn Klassen unterschieden. Eine Genauigkeitsprüfung mit Hilfe von Fehlermatrizen ergab Gesamtklassifizierungsgenauigkeiten zwischen 81% und 85%. Die Kakamega-Nandi Forests sind durch eine kontinuierliche Waldabnahme von 31% zwischen 1972/73 und 2001 gekennzeichnet, Mabira Forest zeigt einen abrupten Waldver-

lust von 24% in den späten 1970ern/frühen 1980ern, während die Ergebnisse für Budongo Forest eine relativ stabile Waldbedeckung ausweisen. Während eine Abschätzung der räumlichen Muster von Waldverlusten eine hohe Deckungsgleichheit mit Gebieten hoher Bevölkerungsdichte ergab, deutet die Anwendung eines räumlich expliziten Waldfragmentierungsindex auf eine starke Korrelation von Waldfragmentierung mit der Art von Waldmanagement sowie mit der Erreichbarkeit von Wald über Straßen hin.

Um den Einfluss von Langzeit-Landbedeckungsveränderungen auf Biodiversitätsmuster auf Landschaftsebene für das kenianische Hauptuntersuchungsgebiet quantitativ abzuschätzen, wurden drei Datensätze mit biologischen Felderhebungen zur Abundanz von Schlüsselarten/-gruppen verwendet. Zu diesem Zweck wurde die Zeitreihe zunächst um drei weitere Landbedeckungs-Datensätze ergänzt, die aus Luftbildern (1965/67, 1948/(52)) bzw. alten topographischen Karten (1912/13) gewonnen wurden. Zur Vorhersage der raumzeitlichen Verteilung der Treiberameise *Dorylus wilverthi* wurden GIS-Operatoren und statistische Tests (OLS bzw. SAR Regressionsmodelle) in einem räumlichen Modellierungsablauf kombiniert. Abundanzdaten von drei sich hinsichtlich ihrer Abhängigkeit von Wald unterscheidenden Vogelgilden wurden direkt auf fünf Waldbedeckungsklassen hochgerechnet, die in der Zeitreihe unterschieden werden konnten. Die Ergebnisse prognostizieren Abundanzabnahmen von 56% für *D. wilverthi*, von 58% für Ameisen-folgende Vögel und einen Gesamtverlust von 47% für die Vogelgilden, was in allen drei Fällen eine deutliche Überschreitung der Waldverlustrate von 31% darstellt. Zusätzliche Extrapolationen basierend auf Szenarien bestätigten die negativen ökologischen Konsequenzen der Zerteilung zusammenhängender Waldflächen bzw. zeigten andererseits das Potential von Aufforstungen mit einheimischen Arten auf.

Die Visualisierung der Analyse- bzw. Modellierungsergebnisse führte zu unterschiedlichen Darstellungen: Mit einer Reihe von nebeneinander positionierten Einzelkarten sowie einer Matrix von Einzelkarten, die jeweils Artenverteilungen zeigen, sollen Wissenschaftler und Entscheidungsträger angespro-

chen werden. Aus den Ergebnissen der Landbedeckungsanalyse für die drei Untersuchungsgebiete wurden Landbedeckungsveränderungstypen generiert und jeweils in einer synthetischen Karte dargestellt, die hauptsächlich für Wissenschaftler gedacht sind. Um die wesentlichen Waldveränderungen auch auf einfache Weise zu den Entscheidungsträgern zu kommunizieren, wurden zusätzliche Karten erstellt, die nur eine aggregierte Klasse „Waldbedeckung“ zeigen und jeweils auf drei Zeitschritte der Zeitreihen begrenzt sind. Zusätzlich wurde ein leicht zu bedienendes Visualisierungstool entwickelt, das für Wissenschaftler, Entscheidungsträger und die lokale Bevölkerung gedacht ist. Für die Zukunft wäre eine umfassendere Abschätzung unter Berücksichtigung zusätzlicher Arten/-gruppen sowie auch Ökosystemfunktionen und -dienstleistungen wünschenswert. Die Verknüpfung einer Applikation zur Landbedeckungsmodellierung mit einer Applikation zur Ausführung von empirischen Extrapolationsmodellen (in stärkerem Maße automatisiert als in dieser Arbeit) könnte im Idealfall in ein GIS-basiertes Tool zur integrativen Bewertung von Waldökosystemen münden, das dann als räumliches Entscheidungsunterstützungssystem verwendet werden könnte.

Technische Universität Dresden

Frau Dipl.-Ing. (FH) ANJA HOPFSTOCK promovierte am 22.10.2010 am Institut für Kartographie der Technischen Universität Dresden mit der Arbeit „*A User-Oriented Map Design in the SDI Environment Using the Example of a European Reference Map at Medium Scale*“ zum Dr.-Ing.

1. Gutachter: Prof. Dr. MANFRED BUCHROITHNER, TU Dresden, Institut für Kartographie,
2. Gutachter: Prof. Dr. Frank Dickmann, Ruhr-Universität Bochum, Geographisches Institut

Kurzfassung

Der wachsende Bedarf unserer Wissensgesellschaft an zuverlässigen Informationen über räumliche Strukturen und Sachverhalte ist die treibende Kraft bei Aufbau und Einsatz von Geodateninfrastrukturen (GDI). Eine

Geodateninfrastruktur wirkt zum vollen Nutzen der Gesellschaft, wenn die Daten in der GDI zugänglich sind und effektiv für Erkenntnis- und Entscheidungsprozesse genutzt werden können. Die gegenwärtige Entwicklung von GDI setzt auf moderne Informationstechnologien bei der Geodatenverarbeitung. Dabei wird einer bedarfsgerechten und nutzerfreundlichen Präsentation von Geodaten in ansprechender visueller Form wenig Aufmerksamkeit zuteil.

Da Geoinformation erst durch die Interaktion des Nutzers mit den Geodaten entsteht, ist es Aufgabe der Kartographie, bedarfsgerechte Kartendarstellungen zu gestalten und an der Schnittstelle zwischen einer Geodateninfrastruktur und ihren Nutzern bereitzustellen. Ziel der vorliegenden Dissertation ist es, eine geeignete Methodik für den Kartenherstellungsprozess in einer GDI-Umgebung zu entwickeln und beispielhaft umzusetzen.

Zunächst werden Konzept, Ziele und Prinzipien von Geodateninfrastrukturen beispielhaft anhand der Europäischen GDI-Initiativen dargestellt und hinsichtlich des Bedarfs an kartographischen Darstellungen untersucht. Danach wird, ausgehend von der Forderung nach verständlichen und gut interpretierbaren Geoinformationen, die Rolle der Kartographie im GDI-Kontext bestimmt. Dabei werden zunächst Funktion und Aufgaben der Kartographie sowie die tragenden Konzepte und Grundlagen einer nutzerorientierten Kartengestaltung dargelegt. Der Vergleich der bestehenden Geodatenzugangsdienste zur Funktion der Kartographie ergibt eine Lücke, die es zu schließen gilt, um den Nutzeranforderungen gerecht zu werden. Dazu wird der Gesamtprozess für die Herstellung von Karten im GDI-Kontext beschrieben. In diesem Prozess kommt dem Graphikfilter von SPIESS besondere Bedeutung als Modell eines wissensbasierten Systems zur Aufstellung und Umsetzung von kartographischen Gestaltungsregeln zu. Den Ausgangspunkt für die Ausarbeitung der Teilprozesse bieten die von GRÜNREICH vorgeschlagenen Teilaufgaben der Kartographie im Rahmen der GDI. Mittels eines Anwendungsfalls im Europäischen Kontext wird der vorgeschlagene Gesamtprozess erprobt. Dieses Beispiel geht davon aus, dass eine internationale Planungsgruppe im Zuge

der Konzeption einer grenzüberschreitenden Verkehrsverbindung eine anschauliche Beschreibung der Landschaft in Form einer einheitlich gestalteten und flächendeckenden Karte benötigt. Durch Anwendung des kartographischen Reverse Engineering werden die Vorgaben für die Kartengestaltung ermittelt. Der zuvor entwickelte Herstellungsprozess wird einschließlich der Anwendung auf konkrete GDI-Daten ausgeführt und diskutiert.

Die entwickelte Methodik für den Kartenherstellungsprozess in der GDI-Umgebung basiert auf den semiotisch-kognitiven und handlungstheoretischen Konzepten der modernen Kartographie. Kartengestaltung im Kontext von Geodateninfrastrukturen bedeutet die Entwicklung eines Graphikfilters, der eine optimale bedarfsgerechte Visualisierung der Geodaten mittels nutzerspezifischer Parameter und Gestaltungsregeln ermöglicht. Wie das Fallbeispiel zeigt, ist es durch die entwickelte Methodik möglich, brauchbare und nützliche Kartendarstellungen zu gestalten. Die Anwendung des kartographischen Reverse Engineering erlaubt es, Kartendarstellungen zu entwickeln, die – wie von INSPIRE empfohlen – bewährten kartographischen Erfahrungen und allgemeinen Traditionen entsprechen. Das Ergebnis des Anwendungsfalls ist ein Prototyp einer Europäischen Referenzkarte im Maßstab 1 : 250.000. Die einheitliche und somit vergleichbare Darstellung über Grenzen hinweg unterstützt das Planungsteam in seiner Arbeit. Die praktische Umsetzung der Karte zeigt zudem, dass funktionsfähige Werkzeuge und Technologien für die regelbasierte Kartenherstellung aus GDI-Daten vorhanden sind.

Die Dissertation trägt dazu bei, das Bewusstsein für den menschlichen Aspekt der Nutzung einer Geodateninfrastruktur zu schärfen. Der Beitrag der Kartographie zur Nutzung der Geodaten einer GDI besteht in der Initiierung, Gestaltung und Pflege von Darstellungsdiensten. Dabei liegt es in der Verantwortung der Kartographen, die nutzerseitigen Aspekte dieser graphischen Schnittstelle unter Berücksichtigung der modernen kartographischen Konzepte zu betreuen. Für eine effektive visuelle Informationsverarbeitung durch den Nutzer ist daher eine nutzerorientierte Kartengestaltung in Abhängigkeit

von der geplanten Interaktion (z. B. Kommunikation oder Analyse) unerlässlich. Neben der Funktion als Schnittstelle machen kartographische Darstellungen räumliche Strukturen verständlich. Daher ist die Kartenherstellung im GDI-Kontext eine Maßnahme, um Interoperabilität von Geodaten über die technische Ebene hinaus auf menschlicher Ebene zu ermöglichen. Die Relevanz dieser Forschungsarbeit liegt im Bereich der Kommunikationskartographie, die die Effektivität und Verbindlichkeit der Kommunikation über räumliche Strukturen und Sachverhalte zu vertiefen sucht.

Technische Universität Dresden

Herr SAMY GAMAL ELBIALY, M.Sc., promovierte am 08.3.2011 am Institut für Kartographie der Technischen Universität Dresden mit der Arbeit *„Potential of Spaceborne X- and L-Band SAR Data for Soil-Moisture Mapping Using GIS and its Application to Hydrological Modelling: the Example of Gottleuba Catchment, Saxony/Germany“* zum Dr.-Ing.

1. Gutachter: Prof. Dr. MANFRED BUCHROITHNER, TU Dresden, Institut für Kartographie,
2. Gutachter: Prof. Dr. UWE SÖRGE, Leibniz Universität Hannover, Institut für Photogrammetrie und Geoinformation

Kurzfassung

Hydrological modelling is a powerful tool for hydrologists and engineers involved in the planning and development of integrated approach for the management of water resources. With the recent advent of computational power and the growing availability of spatial data, RS and GIS technologies can augment to a great extent the conventional methods used in rainfall runoff studies: It is possible to accurately describe watershed characteristics in particularly when determining runoff response to rainfall input. The main objective of this study is to apply the potential of spaceborne SAR data for soil moisture retrieval in order to improve the spatial input parameters required for hydrological modelling. For spatial database creation, high resolution 2m Digital Terrain Model (DTM) from airborne laser scanning, soil map, and landuse map

were used. Rainfall records were transformed into a runoff through hydrological parameterisation of the watershed and the river network using HEC-HMS software for rainfall runoff simulation. The Soil Conservation Services Curve Number (SCS-CN) and Soil Moisture Accounting (SMA) loss methods were selected to calculate the infiltration losses. In microwave remote sensing, the study of how the microwave interacts with the earth terrain has always been interesting in interpreting the satellite SAR images. In this research soil moisture was derived from two different types of Spaceborne SAR data: TerraSAR-X and ALOS PALSAR (L band). The developed integrated hydrological model was applied to the test site of the Gottleuba Catchment area which covers approximately 400 sqkm, located south of Pirna (Saxony, Germany). To validate the model, historical precipitation data of the past ten years were used. The validated model was further optimized using the extracted soil moisture from SAR data. The simulation results showed a reasonable match to the observed hydrographs. Quantitatively the study concluded that based on SAR data, the model could be used as an expeditious tool of soil moisture mapping which is required for hydrological modelling.

Technische Universität Dresden

Herr Dr. BISWAJEET PRADHAN habilitierte am 15.3.2011 am Institut für Kartographie, Fakultät Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften der Technischen Universität Dresden mit der Arbeit *„Application of Different Remote Sensing and Geoinformation Based Methods and Approaches to Geohazard Management: Selected Examples from South-East Asia“* zum Dr.-Ing. habil.

1. Gutachter: Prof. Dr. MANFRED BUCHROITHNER, TU Dresden, Institut für Kartographie,
2. Gutachter: Prof. Dr. HERMANN HÄUSLER, Universität Wien, Department für Umweltwissenschaften,
3. Gutachter: Prof. Dr. ELMAR CSAPLOVICS, TU Dresden, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung

Kurzfassung

The recent development of new approaches for natural hazard and risk assessment, including the use of spatially distributed deterministic models, soft computing, data mining and statistical models, run-out modeling and probabilistic approaches have been gaining immense popularity in the geohazard community. The habilitation thesis presents current research results and methodological diversities on the landslides, flood, oil spills, and forest fire applications with a major focus on susceptibility, hazard and risk analyses with various examples from South-East Asia.

The introductory section describes complexity of relationship between the geological, geomorphological, and meteorological causative parameters and its direct impact on natural hazards initiations. Further, this chapter will discuss about some important terminologies related to the geohazard management and about the spatial information technologies aided with soft computing techniques to support hazard and risk management. The rest of the sections will discuss the effective utilization of geoinformation technologies (GIT) to studying these natural disasters and to addressing technical and some application issues with some examples in Malaysia.

This habilitation thesis is organized in two major parts, the first describes the methods and development of algorithms and the second presents some applications. The central topic of this thesis is the development and application of different soft computing, probability and data mining techniques for geohazard management. Recently, there are number of different approaches for the measurement of geohazard, including direct and indirect heuristic approaches, and deterministic, probabilistic, statistical and data mining approaches. This thesis will focus on the latest and modern techniques in data mining to improve geohazard modeling with some case studies. For the modeling, various parameters (earth observation remote sensing based, lithological, geomorphological, etc.), processes and mechanisms geohazard modeling with the aid of GIS and soft computing approaches have been used.

The goal of this habilitation thesis is to dealing with the various types of geohazard (land-

slide, flood, forest fire, and oil spill) and modeling approaches to reduce the impacts that can be taken prior to their occurrence, by adapting spatial information technologies to support increased coordination among multiple programs of geohazard management. In this habilitation thesis, the author demonstrates the application of GIT tools to the task of identifying, analyzing, assessing, and modeling of these geohazard with numerous examples.

Technische Universität München

Herr Dipl.-Ing. STEFAN AUER promovierte am 18.03.2011 an der Fakultät für Bau- und Vermessungswesen der Technischen Universität München mit der Arbeit „3D Synthetic Aperture Radar Simulation for Interpreting Complex Urban Reflection Scenarios“ zum Dr.-Ing.

Referent: Prof. Dr.-Ing. habil. RICHARD BAMLER, München;

Korreferenten: Prof. Dr.-Ing. habil. STEFAN HINZ, Karlsruhe; Prof. ANTONIO IODICE, Ph.D., Neapel, Italien

Kurzfassung

Die Interpretation des Erscheinungsbilds von Objekten in hoch aufgelösten Bildern satellitengetragener SAR-Systeme ist schwierig aufgrund von Verzerrungseffekten wie der Verkürzung oder Überlagerung von Objektinformation. Die Natur von Streuern, die deutlich sichtbare SAR-Bildsignaturen hervorrufen, ist bislang noch nicht im Detail bekannt. Auf Render-Algorithmen basierende Simulationsmethoden ermöglichen die Unterstützung der visuellen Interpretation von SAR-Bildern, indem das Augenmerk auf die Geometrie von Objekten gelegt werden kann. Der in dieser Doktorarbeit präsentierte Ansatz spricht in diesem Zusammenhang drei neue Aspekte der Radarsimulation an: Zum einen wird die Simulation von SAR-Daten in drei Dimensionen durchgeführt, einschließlich der Elevationsrichtung. Zudem werden Methoden aufgezeigt für eine gezielte Analyse von Bildsignaturen. Schließlich wird die Inversion eines SAR-Abbildungssystems simuliert, um den physikali-

schen Ursprung von SAR-Bildsignaturen feststellen zu können.

Für die Realisierung dieser Ziele wurde ein SAR-Simulator namens RaySAR entwickelt, der auf Raytracing-Methoden basiert und Simulationsprodukte anhand von drei Arbeitsschritten bereitstellt: Modellierung, Abtastung und 3D-Analyse von Streuern. RaySAR simuliert ein ideales SAR-System, welches eine unendliche Auflösung in Azimut-, Entfernungs- und Elevationsrichtung besitzt. Spiegeln Reflexionen werden erkannt anhand einer geometrischen Analyse des Signalpfads. Im letzten Arbeitsschritt werden auf der Grundlage von simulierten Bilddaten in der Azimut-Entfernung-Ebene Streuer im dreidimensionalen Raum analysiert. Überlagerungseffekte in SAR-Bildern lassen sich dabei durch die Verfügbarkeit von 3D-Information auflösen. Darüber hinaus können SAR-Bildsignaturen mit der Geometrie von simulierten Objekten in Verbindung gebracht werden.

Die Ergebnisse von verschiedenen Fallstudien zeigen das Leistungsvermögen und Grenzen des Simulationskonzepts. Limitierende Faktoren bei der Abtastung sind vereinfachte Reflexionsmodelle und ein Teilverlust von diffusen Mehrfachreflexionen. Jedoch erlaubt RaySAR die vollständige Erfassung von spiegelnden Reflexionen und ermöglicht die Simulation von hoch detaillierten Objektmodellen. In Bezug auf den notwendigen Detaillierungsgrad von Gebäudemodellen müssen zumindest grundlegende Fassadendetails geometrisch beschrieben sein. Dreifachreflexionen an Gebäudeecken werden als hervortretendes Bildmerkmal für Gebäude bestätigt. Zudem ist das Auftreten von Reflexionsgraden größer als 3 wahrscheinlich für freistehende Gebäude. Die Ergebnisse der Fallstudien zeigen, dass viele SAR-Bildsignaturen keinen direkten Bezug zur Geometrie von Objekten besitzen. Mehrfachreflexionen können im dreidimensionalen Raum beispielsweise neben Gebäuden, auf Bodenhöhe oder sogar unterhalb der Erdoberfläche lokalisiert werden.

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Förstner Ehrendoktor der Leibniz Universität Hannover

Prof. Dr.-Ing. WOLFGANG FÖRSTNER hat für sein Lebenswerk die Ehrendoktorwürde der Fakultät für Bauingenieurwesen und Geodäsie der Leibniz Universität Hannover erhalten. FÖRSTNER, Professor für Photogrammetrie an der Universität Bonn, gilt weltweit als einer der meistgeachteten Vertreter seines Fachs, nicht zuletzt wegen des nach ihm benannten Förstneroperators zur Extraktion markanter Punkte aus digitalen Bildern. Daneben spielt er eine international führende Rolle bei der Kooperation mit dem aus der Informatik und Elektrotechnik stammenden Gebiet der Computer Vision. Die Ehrung fand am 9. Februar 2011 im Beisein des Präsidenten der Leibniz Universität, Prof. BARKE statt, die Laudatio hielt Prof. HEIPKE, Leiter des dortigen Instituts für Photogrammetrie und GeoInformation.

Prof. WOLFGANG FÖRSTNER legte als Assistent von Prof. ACKERMANN in den siebziger und achtziger Jahren entscheidende Grundlagen in der digitalen Photogrammetrie. Insbesondere widmete er sich dem Problem der Bildzuordnung, das durch die erstmalige Verfügbarkeit digitaler Bilder hoch aktuell war. Noch heute beruhen weltweit viele aktuelle Systeme, die sich in der praktischen Arbeit bewährt haben, auf Ergebnissen aus FÖRSTNERS Forschungsarbeiten. In den folgenden Jahren erweiterte er sein Arbeitsgebiet, das bald weit über die Photogrammetrie hinausging und Arbeiten der Mustererkennung und des Computervisuals umfasste. Forschungen zur Gebäuderekonstruktion aus Luftbildern bildeten nach seiner Berufung nach Bonn im Jahr 1990 den wissenschaftlichen Schwerpunkt seiner Arbeit. Er initiierte zusammen mit ACKERMANN u.a. das DFG-Bündelprogramm „*Semantische Modellierung und Extraktion räumlicher Objekte aus Bildern und Karten*“, das er von 1993 bis 1999 leitete. Dieses Bündel wurde nicht nur inhaltlich zu einem großen Erfolg, es dient bis heute auch als Modell, wie DFG-Bündelprojekte erfolgreich realisiert werden können. In den vergangenen Jahren widmete sich FÖRSTNER zudem der automatischen Auswertung von Nahbereichsaufnahmen, blieb dabei seiner Liebe zu Gebäuden

aber treu. Wesentliche Arbeiten betreffen die Auswertung von Fassaden und Hauseingängen. FÖRSTNER wurde für seine Arbeiten bereits mit zahlreichen Preisen geehrt, etwa mit dem Photogrammetric Award der Amerikanischen

Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung (ASPRS, 2005), dem Gino Cassini Award der ISPRS (2000) und mehreren Preisen der Deutschen Arbeitsgemeinschaft für Mustererkennung (DAGM).



Prof. Dr.-Ing. WOLFGANG FÖRSTNER mit der Urkunde zu seiner Ehrenpromotion.

Buchbesprechung

PETER KOHLSTOCK: Topographie. Methoden und Modelle der Landesaufnahme, Verlag De Gruyter Studium.

Der Autor, Peter Kohlstock, langjähriger Professor für Kartographie, Photogrammetrie und Topographie an HAW und HCU Hamburg, legt eine Entwicklungsgeschichte der Topographischen Landesaufnahme vor. Sie umfasst deren Anfänge, etwa im 16. Jahrhundert, bis zu den Techniken, Verfahren und Methoden unserer Zeit. Als Grundlage nennt der Autor seine Vorlesungen.

Der beschränkte Platz von nur 198 Seiten Text, Format 24 mal 17 cm², mit einer Menge Abbildungen und Tabellen, alle in s/w, zwingt zu Übersichten – im Wesentlichen Grundlagen der Datenerfassung – und entsprechenden Verweisen auf 28 Lehrbücher und acht Seiten Fachartikel für alle Leser, die tiefer in die Materie eindringen wollen oder müssen. Sieben Seiten Fachregister unterstützen Leser, die nur einzelne Ausführungen / Erläuterungen suchen.

Die Kapitel *Grundlagen und Entwicklung der topographischen Landesaufnahme, Topographische Objekte, Terrestrisch-topographische Vermessung, Topographische Vermessung mittels Fernerkundung, Topographische Modelle und Informationssysteme* sowie *Durchführung und Prüfung topographischer Vermessungen* strukturieren das Werk.

Per Definition ist der Zweck der Topographie die möglichst anschauliche Darstellung der Landschaft mit ihren charakteristischen Eigenschaften und wesentlichen natürlichen und künstlichen Objekten. Dazu geben der Zweck entstehender Karten und ihr Maßstab zusammen mit der Charakteristik des Geländes Grenzen für Möglichkeiten der Darstellung sowie von erzielbarer Genauigkeit, notwendiger Generalisierung und zweckmäßiger Farbgebung vor, was ein Lehrbuch sorgfältig herausarbeiten müsste. Die aufgeführte – im Wesentlichen – Sammlung und Speicherung topographischer Daten ist jedoch nur eine Seite der Medaille. Die andere – hier nicht

behandelte – wäre zu zeigen, welche Ergebnisse mit den vorgestellten Geräten und Methoden zur möglichst aussagefähigen Darstellung der Information für verschiedene Maßstäbe und Zwecke in Problemfällen erzielbar sind. Interessant wäre auch die Information wie andere Länder als Deutschland verfahren, und der Vergleich zwischen verschiedenen Ländern in der Behandlung ähnlich gelagerter Problemfälle.

Einen begrenzenden Einfluss auf diese Ziele könnte der Wettstreit von amtlicher Vermessung und Alpenverein – und deren Vergleich in Beispielen – in europäischen Ländern und auch außerhalb zeigen. Einerseits müssen geschlossene Kartenwerke und die Ableitung von Folgemaßstäben periodisch durch unterschiedlich fähige Mitarbeiter hergestellt werden, andererseits lediglich voneinander isolierte Inselkarten. Um einen gleichmäßigen Duktus der Darstellung zu erzielen, können Bearbeiter eines amtlichen Kartenblattes vielleicht stark unterfordert, jene der Nachbarblätter aber vielleicht schon überfordert sein. Dadurch müssen Idealforderungen zwangsläufig reduziert werden. Der Alpenverein kann jedoch herausragende Experten einsetzen, die immer neue Verfahren erproben und optimale Ergebnisse erzielen, ohne Rücksicht auf Kollegen nehmen zu müssen, die an anderen Gebirgsmassiven tätig sind.

Verlag und Autor sehen als Käufer / Leser Studierende und Praktiker des Vermessungswesens, von Geoinformatik / Geowissenschaften und der Kartographie. Studierende können vielleicht zunächst nicht beurteilen, ob der Messtisch und andere alte Verfahren und Geräte heute noch Bedeutung für die Topographie gegenüber Digitaler Photogrammetrie oder Laserscanning vom Boden oder aus der Luft, jeweils mit Bild- und Datenverarbeitung, haben. Wohl aber können es die auch angesprochenen Praktiker. Viele Einzelheiten und Abbildungen dieses Werkes findet der Leser allerdings auch in den zitierten Lehrbüchern der *Allgemeinen Geodäsie, Photogrammetrie und Kartographie*.

FRIEDRICH S. KRÖLL, Neubiberg/München

Veranstaltungskalender

2011

17.–19. August: ISPRS WG V/2 Conference on **Cultural Heritage Data Acquisition & Processing** in York, Großbritannien. www.isprs-york2011.org

29. August: Workshop on **Use of 3D City Models in E-Government for Sustainable Urban Governance** in Delft, Niederlande. www.itc.nl/Pub/Events-Conferences/2011/August2011/eGOV_2011_-_The_Netherlands.html

29.–31. August: ISPRS **WG V/3 Laser Scanning 2011** in Calgary, Kanada. www.ucalgary.ca/laserscanning2011/

5.–9. September: 53. **Photogrammetrische Woche** an der Universität Stuttgart. www.ifp.uni-stuttgart.de/phowo/index.html

12.–16. September: XXIIIth **International CIPA-HD Symposium** in Prague, Tschechien. www.conferencepartners.cz/cipa

14.–16. September: ISPRS ICWG I/V **International Conference on Unmanned Aerial Vehicle in Geomatics (UAV-g)** an der ETH Zürich, Schweiz. www.uav-g.ethz.ch

27.–29. September: **INTERGEO 2011** in Nürnberg. www.intergeo.de/de/deutsch/index.php

5.–7. Oktober: **Photogrammetric Image Analysis 2011 (PIA11)** in München. www.pia11.tum.de

12.–14. Oktober: ISPRS WG II/4 & ICWG II/IV 7th **International Symposium of Spatial Data Quality** in Coimbra, Portugal. www.mat.uc.pt/issdq2011/

17.–18. Oktober: ISPRS IC WG II/IV Workshop on **Dynamic & Multi-dimensional GIS (DMGIS' 2011)** in Shanghai, China. civileng.tongji.edu.cn/DMGIS2011/Home.html

16.–18. November: 2nd **International Workshop on 3D Cadastres** in Delft, Niederlande. 3dcadastres2011.nl/

8.–9. Dezember: ISPRS WG V/5 **Special Session about 3D Object Recognition & Tracking** in Berlin. www2.informatik.hu-berlin.de/cv/isprs/index.html

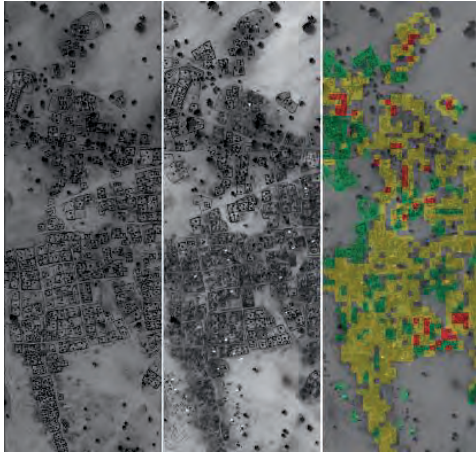
2012

1.–2. Februar: 11. **Oldenburger 3D-Tage**. www.jade-hs.de/3dtage/

24. August – 3. September: **XXII ISPRS Congress 2012** in Melbourne, Australien. www.isprs2012-melbourne.org/

Zum Titelbild

Change Detection



Das Titelbild zeigt die Stadt Abu Suruj im Osten Sudans. Diese hat sich während des Darfur-Konfliktes stark verändert. Die Bilder

wurden von Quickbird-2 am 2. März 2006 (links) vor einem Angriff von Reitermilizen und am 28. Februar 2008 (nach dem Angriff) aufgenommen.

Die rechte Abbildung zeigt eine Karte der Veränderungen in Abu Suruj: Veränderungen sind als transparente Farbmaske über das Satellitenbild gelegt. Neue Gebäude werden grün, leichte bis moderate Veränderungen gelb und starke Veränderungen rot dargestellt.

Weitere Informationen sind dem Beitrag „Detektion von zerstörten Gebäuden in Krisengebieten aus panchromatischen Fernerkundungsdaten“ von KLONUS et al. in diesem Heft zu entnehmen.

ULRICH MICHEL, Pädagogische Hochschule Heidelberg, Abteilung Geographie, Czernyring 22/11-12, D-69115 Heidelberg, Tel.: +49-6221-477-772, Fax: -769, e-mail: michel@ph-heidelberg.de.

Korporative Mitglieder

Firmen

AEROWEST GmbH
 AICON 3D Systems GmbH
 Alpha Luftbild GmbH
 aphos Leipzig AG
 Becker GeoInfo GmbH
 Bernhard Harzer Verlag GmbH
 Blom Deutschland GmbH
 Brockmann Consult
 bsf swissphoto
 Büro Immekus
 CGI Systems GmbH
 con terra GmbH
 DEFINIENS AG
 DELPHI IMM GmbH
 Deutsches Bergbau-Museum
 EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH
 ESG Elektroniksystem- und Logistik-GmbH
 ESRI Geoinformatik GmbH
 EUROPEAN SPACE IMAGING
 Eurosense GmbH
 fokus GmbH
 g.on experience gmbh
 GAF GmbH
 GeoCad GmbH
 GeoCart Herten GmbH
 GeoContent GmbH
 Geoinform. & Photogr. Engin. Dr. Kruck & Co. GbR
 geoplana Ingenieurgesellschaft mbH
 GEOSYSTEMS GmbH
 GGS - Büro für Geotechnik, Geoinformatik, Service
 Hansa Luftbild AG
 IGI - Ingenieur-Gesellschaft für Interfaces mbH
 ILV Ing.-büro für Luftbildausw. und Vermessung
 Imetric 3D GmbH
 Infoterra GmbH
 INVERS - Industrievermessung & Systeme
 ITT Visual Information Solutions GmbH
 J. Linsinger ZT-GmbH
 Jena-Optronik GmbH
 KAZ Bildmess GmbH
 Leica Geosystems GmbH
 Luftbild Brandenburg GmbH Planer + Ingenieure
 Luftbilddatenbank-Würzburg
 Messbildstelle GmbH
 Microsoft Photogrammetry
 MILAN Geoservice GmbH
 PHOENICS GmbH
 PMS - Photo Mess Systeme AG
 RIEGL Laser Measurement Systems GmbH
 RWE Power AG, Geobasisdaten/Photogrammetrie
 technet GmbH
 TerraVista Umweltdaten GmbH
 TRIGIS Vermessung + Geoinformatik GmbH
 Trimble Germany GmbH
 trimetric 3D Service GmbH
 Wichmann, VDE Verlag GmbH
 Z/I Imaging Ltd.

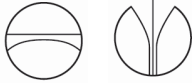
Behörden

Amt für Geoinformationswesen der Bundeswehr
 Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft
 Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
 Bundesmin. für Ernäh., Landw. u. Verbraucherschutz
 DB Netz AG
 Hess. LA für Bodenmanagement und Geoinformation
 Innenministerium NRW, Gruppe Vermessungswesen
 Inst. für Umwelt- und Zukunftsforschung
 LA für Geoinformation u. Landentw., Baden-Württem.
 LA für Vermessung und Geoinformation, Bayern
 LB Geoinformation und Vermessung, Hamburg
 LB f. Küstenschutz, Nationalpark u. Meeresschutz, SH
 Landesvermessung und Geobasisinformation Nieders.
 Märkischer Kreis, Vermessungs- und Katasteramt
 Regierungspräsid. Tübingen, Abt. 8 Forstdirektion
 Regionalverband Ruhr
 Staatsbetrieb Sachsenforst Pirna
 Stadt Bocholt, Fachbereich 31
 Stadt Düsseldorf, Vermessungs- und Katasteramt
 Stadt Köln, Amt für Liegensch., Verm. und Kataster
 Stadt Wuppertal, Verm., Katasteramt und Geodaten
 Thüringer LA für Vermessung und Geoinformation

Hochschulen

BTU Cottbus, Lehrstuhl für Vermessungskunde
 FH Frankfurt a.M., FB 1, Studiengang Geoinformation
 FH Mainz, Inst. f. Raumbez. Inform.- und Messtechn.
 HCU HafenCity Universität Hamburg, Geomatik
 HfT Stuttgart, Vermessung und Geoinformatik
 HS Bochum, FB Vermessung und Geoinformatik
 HS Karlsruhe, FB Geoinformationswesen
 HTW Dresden, FB Vermessungswesen/Kartographie
 Jade Hochschule, Inst. für Angew. Photogr. und Geoinf.
 Ruhr-Uni Bochum, Geographisches Institut
 RWTH Aachen, Geodätisches Institut
 TU Bergak. Freiberg, Inst. f. Markscheid. u. Geodäsie
 TU Bergak. Freiberg, Inst. für Geologie, RSG
 TU Berlin, Computer Vision & Remote Sensing
 TU Berlin, Inst. f. Geodäsie u. Geoinformationstechnik
 TU Braunschweig, Inst. für Geodäsie und Photogr.
 TU Clausthal, Inst. für Geotechnik und Markscheidew.
 TU Darmstadt, Inst. für Photogrammetrie und Kartogr.
 TU Dresden, Inst. für Photogrammetrie und Fernerk.
 TU München, FG Photogrammetrie und Fernerk.
 TU Wien, Inst. für Photogrammetrie und Fernerk.
 Uni Bonn, Inst. für Photogrammetrie
 Uni Göttingen, Inst. für Waldinv. und Waldwachstum
 LUH Hannover, Inst. für Kartogr. und Geoinformatik
 LUH Hannover, Inst. für Photogrammetrie und GeoInf.
 Uni Heidelberg, IWR Interdis. Zentr. f. Wiss. Rechnen
 Uni Karlsruhe, Inst. für Photogrammetrie und Fernerk.
 Uni Kassel, FB Ökologische Agrarwissenschaften
 Uni Kiel, Geographisches Institut
 Uni Stuttgart, Inst. für Photogrammetrie
 Uni Würzburg, Geographisches Institut
 Uni zu Köln, Geographisches Institut





Technische Universität München



In der **Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen** ist ab 01.04.2012 ein

Lehrstuhl für Geoinformatik

der Besoldungsgruppe W 3 zu besetzen.

Die Technische Universität München bekennt sich zur Exzellenz in Forschung und Lehre. Gesucht wird daher eine international herausragende Forscherpersönlichkeit, die durch ein breites Wirken auf dem Gebiet der Geoinformatik /Geoinformationssysteme international ausgewiesen ist. Schwerpunkte in der wissenschaftlichen und praktischen Arbeit sollen dabei in den Bereichen der geo-räumlichen Datenmodellierung und Informationstechnologien liegen. Es besteht die Bereitschaft zur Zusammenarbeit in interdisziplinären Verbundprojekten. Zukünftige Forschungsbereiche schließen die Konzeption und Entwicklung von Methoden zur Datenharmonisierung, inkrementelle Integration der Daten aus Geo-Sensornetzwerken und Geodatenanalyse ein. Dabei sollen auch Methoden zur Verarbeitung raum-zeitlicher Informationen für Anwendungsgebiete im Umweltmonitoring, der Landnutzung und bei der Unterstützung von räumlichen Entwicklungsmaßnahmen berücksichtigt werden. Die Professur beteiligt sich an der Entwicklung von nationalen und internationalen Geodaten-Infrastrukturen und neuen interoperablen Geodaten-Diensten.

Es wird erwartet, dass er/sie sich an der kollegialen Leitung im Institut für Geodäsie, GIS und Landmanagement beteiligt und eng mit dem Institut für Photogrammetrie und Kartographie zusammenarbeitet. Die Stelleninhaberin /der Stelleninhaber besitzt die Doppelmitgliedschaft in der Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan.

Ebenso erwartet wird eine besondere pädagogische Eignung und ein hohes Engagement in der akademischen Lehre sowohl im ausgeschriebenen Fach Geodäsie und Geoinformation und in den allgemeinen Grundlagenfächern der Fakultät als auch in der Lehre für Studierende anderer Fakultäten.

Eine angemessene Beteiligung an den administrativen Aufgaben der Fakultät und der TUM wird vorausgesetzt.

Einstellungsvoraussetzungen sind ein universitärer Hochschulabschluss oder ein anerkannter Fachhochschulabschluss, pädagogische Eignung, Promotion und Habilitation oder Nachweis gleichwertiger wissenschaftlicher Leistungen, die sowohl im Rahmen einer Juniorprofessur als auch einer Tätigkeit außerhalb des Hochschulbereiches erbracht sein können. Bewerberinnen oder Bewerber dürfen zum Zeitpunkt der Ernennung das 52. Lebensjahr noch nicht vollendet haben. Ausnahmen von der Altersgrenze können in dringenden Fällen zugelassen werden.

Die Technische Universität München hat sich in der Exzellenzinitiative des Bundes und der Länder das strategische Ziel gesetzt, den Anteil von Frauen in Forschung und Lehre deutlich zu erhöhen. Wissenschaftlerinnen werden deshalb nachdrücklich um ihre Bewerbung gebeten.

Mit dem Service des TUM Munich Dual Career Office bietet die Technische Universität München Unterstützung für Doppelkarriere-Paare und Familien an.

Schwerbehinderte Bewerberinnen und Bewerber werden bei ansonsten im Wesentlichen gleicher Eignung bevorzugt eingestellt.

Bewerbungen mit den üblichen Unterlagen (Lebenslauf, Zeugnisse, Urkunden, Publikationsverzeichnis einschließlich ausgewählter Sonderdrucke, Verzeichnis der bislang gehaltenen Lehrveranstaltungen sowie eine Darstellung der Forschungs- und Lehrkonzeption) werden bis zum **12.09.2011** erbeten an:

Dekan der Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen
Technische Universität München
Arcisstraße 21, 80290 München