

PPG

Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation

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

Jahrgang 2005, Heft 3

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

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

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



E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung
(Nägele u. Obermiller) Stuttgart 2005



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.



Alfred-Wegener-Stiftung
(AWS) zur Förderung
der Geowissenschaften

Herausgeber:

© 2004 Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) e.V.
Geschäftsstelle: Dr. Klaus-Ulrich Komp, c/o EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH, Ostmarkstraße 92, D-48145 Münster, e-mail: Praesident@dgpf.de
Internet: <http://www.dgpf.de>

Published by:

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

© Gedruckt auf alterungsbeständigem Papier nach ISO 9706-1994

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

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

Verantwortlich für den Inhalt der Beiträge sind die Autoren.

ISSN 1432-8364

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

Schriftleiter: Prof. Dr. rer. nat. Carsten Jürgens, Ruhr-Universität Bochum, Geographisches Institut, Gebäude NA 7/133, D-44780 Bochum, e-mail: carsten.juergens@rub.de und Dr.-Ing. Eckhardt Seyfert, Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg, Heinrich-Mann-Allee 103, D-14473 Potsdam, e-mail: eckhardt.seyfert@lvermap.brandenburg.de

Erscheinungsweise: 7 Hefte pro Jahrgang.

Bezugspreis im Abonnement: € 108,- pro Jahrgang. Mitglieder der DGPF erhalten die Zeitschrift kostenlos.

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

Bernhard Harzer Verlag GmbH, Westmarkstraße 59/59a, D-76227 Karlsruhe, Tel.: 0721/9440 20, Fax: 0721/9440 230, e-mail: Info@harzer.de, Internet: www.harzer.de

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

PFG – Jahrgang 2004, Heft 6

Inhaltsverzeichnis

Originalbeiträge »Arbeitskreis Fernerkundung« der DGfG

MENZ, G. & Jürgens, C.: Vorstellung des neuen »Arbeitskreises Fernerkundung« (AK FE) der Deutschen Gesellschaft für Geographie (DGfG). Editorial	181
GEIST, T., HÖFLE, B., RUTZINGER, M. & STÖTTER, J.: Der Einsatz von flugzeuggestützten Laserscanner Daten für geowissenschaftliche Untersuchungen in Gebirgsräumen	183
THAMM, H.-P., JUDEX, M. & MENZ, G.: Modeling of Land-Use and Land-Cover Change (LUCC) in Western Africa using Remote Sensing	191
HOCHSCHILD, V., WEISE, C. & SELSAM, P. Die Aktualisierung der »Digitalen Grundkarte Landwirtschaft« in Thüringen mit Hilfe von Fernerkundungsdaten	201
NAUSS, T., CERMAK, J., KOKHANOVSKY, A., REUDENBACH, C. & BENDIX, J.: Satellite based retrieval of cloud properties and their use in rainfall retrievals and fog detection	209
SCHMIDTLEIN, S., GRABNER, S. & SASSIN, J.: Eine Fallstudie zum Einsatz abbildender Spektroskopie in der Grünlandkartierung	219
TWELE, A. & ERASMI, S.: Optimierung der topographischen Normalisierung optischer Satellitendaten durch Einbeziehung von Kohärenzinformation	227

Originalbeiträge

BACH, M., BREUER, L., FREDE, H.-G. & HUISMAN, J.A.: Kongruenz unterschiedlicher Informationsquellen zur Flächennutzung	235
--	-----

Berichte

4. Oldenburger 3D-Tage am 2./3. Februar 2005	245
ISPRS Kommission III	248
ISPRS Kommission V	250
DGfK	252
DGfG	253
EuroSDR	254
Trendanalyse zur INTERGEO 2004	255
Persönliches: C.F.Gauss zum 150. Todestag.	257
Vorankündigungen	258
Buchbesprechung: C.Wiedemann	263
Zum Titelbild	265
Neuerscheinungen	267



LMU



International Master's Course

ESPACE

Earth Oriented Space Science and Technology

Vor dem Hintergrund der Konzentration von Expertise in Raumfahrt und satellitengestützter Erdbeobachtung im Raum München haben sich mehrere Einrichtungen entschlossen, unter Koordination des TUM-Fachbereichs „Geodäsie & Geoinformation“ den interdisziplinären und internationalen Master-Studiengang ESPACE (Earth Oriented Space Science and Technology) zu schaffen.

Zielgruppe des 4-semesterigen Master-Studiengangs sind Studenten aus natur-, erd- oder ingenieurwissenschaftlichen Studiengängen mit mindestens Bachelor-Abschluss.

Nach einer 2-semesterigen Ausbildung in den Grundlagen der erdorientierten Satellitenmethoden und der Satellitentechnik können sich die Studenten wahlweise in einem der Vertiefungsmodule Erdsystem, Fernerkundung oder Navigation & Positionierung spezialisieren. Im Anschluss an das Master-Programm bietet ein geplantes Doktorandenkolleg die Möglichkeit der Promotion an einem der beteiligten Institute.

Der neue Master-Studiengang wird zum ersten Mal im Wintersemester 2005/06 angeboten und beginnt im Oktober 2005.

Anmeldefrist: 15. Juli 2005

Anmeldeformulare und weitere Informationen finden Sie unter: <http://www.espace-tum.de>



Prof. UWE STILLA (Studiendekan G&G), München

ETH

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Assistenzprofessur (Tenure Track) für Erdbeobachtung und Umweltüberwachung

Die Assistenzprofessur befasst sich mit Verfahren der Erdbeobachtung mittels Satellitenfernerkundung, mit Anwendungsschwerpunkten in den Bereichen Wasser und Landnutzung. Im Zentrum der Forschung stehen Verarbeitung und Interpretation von optischen multi- und hyperspektralen Aufnahmen und von Mikrowellenaufnahmen. In der Lehre beteiligt sich die Assistenzprofessur am Aufbau von Bachelor- und Master-Kursen in Satellitenfernerkundung.

Kandidatinnen und Kandidaten haben sich neben einer universitären Hochschulausbildung mit Doktorat in Geomatik oder einer benachbarten Disziplin über erfolgreiche Entwicklung und Anwendung von Verfahren der Satellitenfernerkundung für die Umweltüberwachung sowie Erfahrung in der Betreuung entsprechender Forschungsprojekte auszuweisen.

Assistenzprofessuren dienen der Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses. Sie werden auf vier Jahre besetzt; eine Verlängerung um weitere zwei Jahre sowie eine Beförderung auf eine ausserordentliche Professur sind möglich.

Bewerbungen mit Lebenslauf, Publikationsliste und einem Verzeichnis der bearbeiteten Projekte sind bis zum **31. Juli 2005 einzureichen beim Präsidenten der ETH Zürich, Prof. Dr. O. Kübler, ETH Zentrum, CH-8092 Zürich**. Im Bestreben, den Frauenanteil in Lehre und Forschung zu erhöhen, fordert die ETH Zürich Wissenschaftlerinnen ausdrücklich zur Bewerbung auf.

Vorstellung des neuen »Arbeitskreises Fernerkundung« (AK FE) der Deutschen Gesellschaft für Geographie (DGfG)

GUNTER MENZ, Bonn & CARSTEN JÜRGENS, Bochum

Der Arbeitskreis Fernerkundung (AK FE) innerhalb der Deutschen Gesellschaft für Geographie (DGfG) wurde im Oktober 2003 auf dem 54. Deutschen Geographentag in Bern (Schweiz) neu gegründet. Neben dem Arbeitskreis „Interpretation von Fernerkundungsdaten“ der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation e.V. (DGPF) und dem „Nutzerseminar“ des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) bildet der AK FE eine dritte, komplementäre Plattform für den Austausch geographisch-geowissenschaftlicher Anwendungen im deutschsprachigen Raum. Der AK FE repräsentiert gegenwärtig über 31 Hochschulinstitute aus Deutschland, Österreich und der Schweiz (überwiegend aus dem Fach Geographie) und hat aktuell etwa 70 aktive Mitglieder. Die Aufgaben des AK FE sind entsprechend den diversifizierten Interessen der beteiligten Institute relativ breit angelegt und umfassen sowohl die Bereiche Forschung, Lehre und in besonderem Maße die Möglichkeiten der interuniversitären und -institutionellen Vernetzung.

In der vorliegenden Ausgabe der Zeitschrift »Photogrammetrie • Fernerkundung • Geoinformation« (PFG) sind exemplarisch 6 Beiträge von der 2. Jahrestagung des AK FE enthalten, die am 19. und 20. November 2004 am Zentrum für Fernerkundung der Landoberfläche (ZFL) der Universität Bonn stattgefunden hat. Die Beiträge zeigen die Bandbreite der aktuell behandelten Anwendungsfelder des AK FE.

Die 6 Beiträge waren wie folgt in das Programm der 2. Jahrestagung des AK FE eingebettet. Die Tagung wurde durch Beiträge zum Thema „Objektorientierte Klassifikation“ eingeleitet.

A. SIEGMUND (PH Heidelberg) und S. NAUMANN (Universität Karlsruhe) stellten Arbeiten zum Landschaftswandel auf Teneriffa vor. Anschließend zeigten A. KEMPF und C. SAMIMI (Universität Erlangen) Ergebnisse einer Klassifikation von Savannenökosystemen im südlichen Afrika. Der zweite Vortragsblock behandelte neue Sensorsysteme und deren Anwendungsmöglichkeiten. T. GEIST (Universität Innsbruck) stellte das Potenzial von flugzeuggestützten Laserscannern bei glaziologischen Anwendungen vor, gefolgt von einem Beitrag zu den planungsrelevanten Anwendungsmöglichkeiten multi-sensoraler Daten durch J. SCHIEWE (Universität Bonn).

Neben den wissenschaftlich-inhaltlichen Blöcken wurden während des zweiten Tages drei unterschiedliche Aspekte einer möglichen weiteren Vernetzung sowie strukturelle Fragen des AK FE behandelt. Den Auftakt hierzu bildete ein Vortrag von M. SCHARDT (TU Graz) zur „Interuniversitären und transinstitutionären Fernerkundungslehre in Graz“. Das Internetforum „Cubicworld“ für Jobs und Praktika im Bereich Fernerkundung und GIS wurde anschließend von S. SCHIEFER (ZFL Bonn und HU Berlin) vorgestellt. Darauf folgend zeigte G. BRAUN vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) Aspekte der Fördermöglichkeiten für Projekte.

Als Beispiele landwirtschaftlicher Anwendungen stellte H. GERIGHAUSEN (UFZ Leipzig-Halle) Arbeiten zur „Standortcharakterisierung ackerbaulich genutzter Flächen“ und V. HOCHSCHILD (Universität Tübingen) „Die Aktualisierung der Digitalen Grundkarte Landwirtschaft in Thüringen“ vor. S. BRAND (Universität Karlsruhe) stell-

te im Anschluss Besonderheiten bei der „Nutzung von Hyperspektraldaten in urbanen Räumen“ vor und S. SCHMIDTLEIN (Universität Bayreuth) ging auf die „Integration von Methoden der Vegetationskunde und der hyperspektralen Fernerkundung“ ein. Die „fernerkundungsgestützte Parametrisierung der Landoberfläche im Regenwaldbereich in Zentral-Sulawesi“ stand im Mittelpunkt des Beitrags von S. ERASMI (Universität Göttingen). Die Aspekte der Operationalisierung und Automatisierung wurden in den beiden abschließenden Beiträgen behandelt. T. NAUSS (Universität Marburg) präsentierte die „Operationelle Erfassung mikrophysikalischer Wolkeneigenschaften und deren Verwendung in Folgeprodukten“. I. NIEMEYER (Freiberg) stellte „Ansätze zur automatisierten Änderungsanalyse für nukleare Safeguards-Anwendungen“ vor.

Über die 6 hier vorgestellten Beiträge hinaus, können alle Tagungsbeiträge (inkl. Poster) als PDF-Dateien auf der Internetseite des AK Fernerkundung, <http://www.zfl.uni-bonn.de/akfe/akfe.html>, eingesehen und von dort herunter geladen werden.

Die nächste Jahrestagung des AK Fernerkundung wird in Form einer halbtägigen Veranstaltung im Rahmen des Geographentages Anfang Oktober 2005 in Trier stattfinden. Für 2006 ist wiederum eine mehrtägige Veranstaltung geplant, die in Osnabrück stattfinden soll.

Das Sprechergremium des Arbeitskreises Fernerkundung G. MENZ (Bonn), C. JÜRGENS (Bochum), H.-P. THAMM (Bonn) und U. MICHEL (Vechta) bedankt sich beim Herausgeber und der Schriftleitung der PFG für die Möglichkeit, den neuen Arbeitskreis in der vorliegenden Ausgabe einem größeren Interessentenkreis vorstellen zu können.

Anschriften der Autoren:

Prof. Dr. GUNTER MENZ
Arbeitsgruppe Fernerkundung, Institut für Geographie, Universität Bonn
Postfach 1147, D-53001 Bonn
e-mail: menz@rsrg.uni-bonn.de

Prof. Dr. CARSTEN JÜRGENS
AG Geomatik, Geographisches Institut
Ruhr-Universität Bochum
D-44780 Bochum
e-mail: carsten.juergens@rub.de

Der Einsatz von flugzeuggestützten Laserscanner Daten für geowissenschaftliche Untersuchungen in Gebirgsräumen

THOMAS GEIST, BERNHARD HÖFLE, MARTIN RUTZINGER & JOHANN STÖTTER, Innsbruck

Keywords: airborne laser scanning, glaciology, natural hazard management, change detection

Zusammenfassung: Flugzeuggestütztes Laser-scanning (auch Airborne Laser Scanning oder abgekürzt ALS) ist ein modernes Verfahren zur hoch genauen und hoch auflösenden Erfassung von Oberflächen. Trotz einer stetig steigenden Zahl von neuen Anwendungsfeldern gibt es noch wenig Erfahrung in stark gegliedertem alpinem Gelände. Im Rahmen eines EU-Projektes wurden 14 ALS-Datensätze von Gletschern in Österreich und Norwegen im Hinblick auf glaziologische Anwendungen ausgewertet. Die Ergebnisse zeigen, dass die Qualität der Daten (Höhen- und Lagegenauigkeit sowie Detailerkennbarkeit) den Anforderungen der glaziologischen Praxis gerecht wird. Die Möglichkeit, genaue Informationen auch auf Schnee- und Firnoberflächen zu erhalten, führt zu einem deutlichen Vorteil gegenüber optischen Erfassungsmethoden. In einem Mitte 2004 gestarteten Projekt wird der Einsatz von ALS Daten im alpinen Naturgefahrenmanagement untersucht. Dabei wird die Ableitung von Oberflächeneigenschaften (z. B. Rauigkeit) einen Schwerpunkt darstellen. In einem ersten Schritt wird der Prototyp eines flexiblen Dateninformationssysteme mit Open-Source Komponenten aufgebaut sowie objektorientierte Auswertansätze mit Fernerkundungsmethoden für die kombinierte Analyse von ALS Daten und hoch auflösenden optischen Daten getestet. Mit der steigenden Zahl an verfügbaren Datensätzen in Gebirgsräumen sind zukünftig weitere Fortschritte in Bezug auf Anwendungen in Gebirgsräumen zu erwarten.

Summary: *Use of airborne laser scanner data in alpine environments.* Airborne laser scanning (ALS) is a state-of-the-art technology for obtaining topographic information with high resolution and high accuracy. Though already a wide variety of application fields exists, there is not much experience in high mountain environments. In the EU financed OMEGA project 14 data sets over glaciers in Austria and Norway were recorded and analysed. The results show that the data quality (vertical and horizontal accuracy) meets the requirements for glaciological applications. There is a clear advantage towards methods based on optical data due to the ability to obtain topographic information also in snow-covered areas. A recently started project deals with the utilisation of ALS data in alpine natural hazard management with a focus on determining surface properties (e. g. surface roughness). In the project starting phase the prototype of a management system for ALS data based on Open Source software components is set up and object-oriented analysis methods are tested. With the growing number of ALS data sets in high mountain environments a further development of applications can be expected.

1 Einleitung

Flugzeuggestütztes Laser-scanning ist ein modernes Verfahren zur zeit- und kosteneffektiven, hoch auflösenden (> 1 Mio. Mess-

punkte pro km²) und hochgenauen (Höhen-genauigkeit im Dezimeterbereich) Erfassung von Geländeoberflächen. Auf die Darstellung und Diskussion des Messprinzips wird an dieser Stelle verzichtet; ausführliche

Beschreibungen finden sich an zahlreichen Stellen (z. B. KRAUS 2004). Im deutschen Sprachgebrauch hat sich der englische Begriff *Airborne Laser Scanning* durchgesetzt, sowie die Abkürzung ALS, die im Weiteren verwendet wird. Primäres Resultat von ALS Messungen sind X,Y,Z-Koordinaten für jeden Punkt der gescannten Oberfläche, an dem der Laserstrahl reflektiert wird. Bei den meisten Aufnahmesystemen wird zusätzlich für jeden Koordinatenpunkt die am Empfänger ankommende Intensität des reflektierten Signals gemessen. Als gängiger Verarbeitungsschritt werden aus der Punktwolke Rasterdaten gerechnet.

Der Hauptanwendungsbereich von ALS ist die topographische Geländeaufnahme. Vorteile gegenüber herkömmlichen Verfahren bietet ALS vor allem in bewaldeten Gebieten, da aufgrund der hohen Messdichte genügend Punkte die Vegetationsschicht durchdringen und so eine ausreichende Modellierung sowohl der realen Oberfläche einschließlich natürlicher und künstlicher Objekte (DOM – *Digitales Oberflächenmodell*) als auch der eigentlichen Geländeoberfläche ohne diese Objekte (DGM – *Digitales Geländemodell*) zulassen.

In den letzten zehn Jahren hat sich diese Technologie aus dem experimentellen Stadium zu einem operationell einsetzbaren Verfahren entwickelt, das auch großflächige Gebietskörperschaften (z. B. Baden-Württemberg – GÜTLINGER et al. 2001) als Grundlage für die Erstellung landesweiter digitaler Geländemodelle wählen. Die Möglichkeit der zeitgleichen Erfassung von DOM und DGM in einem Datensatz hat dazu geführt, dass ein wesentlicher Anwendungsschwerpunkt bei forstwissenschaftlichen Fragestellungen zu finden ist (z. B. HYYPPÄ et al. 2004). Daneben gibt es zahlreiche weitere Anwendungsfelder in so unterschiedlichen Bereichen wie Küstenschutz, Stadtplanung, Archäologie, Naturschutz oder Überwachung von Hochspannungsleitungen.

Relativ wenig Erfahrung mit dieser Methode gibt es bisher in stark reliefiertem, alpinem Gelände. Aufgrund der begrenzten Reichweite von Laserscanningsystemen ist

die Möglichkeit der Datenerfassung vor allem in Gebieten mit großen Reliefunterschieden eingeschränkt. Seit kurzer Zeit kann der Einsatz verbesserter Systeme mit größerer Reichweite (> 2000 m) diesen Nachteil abschwächen.

Im Folgenden wird der Einsatz von ALS Daten im Hochgebirge exemplarisch für glaziologische Fragestellungen dargestellt und Ausblick auf ein Projekt gegeben, das den Einsatz von ALS Daten im alpinen Naturgefahrenmanagement zum Ziel hat.

2 Anwendungen von multitemporalen Laserscannerdaten in der Glaziologie

Projektrahmen und Daten

Den Rahmen für die hier vorgestellten Untersuchungen bildet das EU-Projekt OMEGA (Laufzeit 2001–2004), das die Evaluierung des Potenzials verschiedener satelliten- und flugzeuggestützter Fernerkundungsmethoden für operationelles Gletschermonitoring zum Ziel hatte (<http://omega.utu.fi>). Bei der Beobachtung von Gletschern spielen Veränderungen in der Gletschergeometrie und der Massenbilanz eine Schlüsselrolle. Im Rahmen von OMEGA wurden die Anforderungen an topographische Daten für ein operationelles Monitoring von Gletschern mit 0,5 m Höhengenaugigkeit und 2 m Lagegenauigkeit quantifiziert (JACKSON et al. 2002).

Aufgabe des Instituts für Geographie der Universität Innsbruck war die Erstellung und die multitemporale Analyse von DGMs aus ALS Daten. Insgesamt wurden 14 Befliegungskampagnen in den OMEGA-Untersuchungsgebieten durchgeführt, zehn an Hintereisferner und Kesselwandferner (Öztaler Alpen, Österreich) mit einer gescannten Fläche von jeweils 36 km², und vier am Engabreen (Svartisen, Norwegen) mit einer gescannten Fläche von jeweils 62 km².

Datenerfassung und Preprocessing wurden von der Firma TopScan GmbH durchgeführt. Bei der Datenerfassung kamen verschiedene Versionen des Optech ALTM Laserscanners zum Einsatz, die sich durch un-

Tab. 1: Wichtige Systemparameter der im OME-GA Projekt verwendeten Optech Laserscanner.

	ALTM 1225	ALTM 3033	ALTM 2050
Durchschnittliche Flughöhe	900 m	900 m	1150 m
Messfrequenz	25 000 Hz	33 000 Hz	50 000 Hz
Scanfrequenz	25 Hz	29 Hz	30 Hz
Scanwinkel	$\pm 20^\circ$	$\pm 20^\circ$	$\pm 20^\circ$
Geplanter Punktabstand	1,5 m	1,5 m	1,0 m

verschiedliche Messparameter auszeichnen (Tab. 1). Der realisierte durchschnittliche Punktabstand betrug 0,8 m–1,4 m. Für die multitemporale Analyse wurde mit den im Softwarepaket SCOP++ implementierten Algorithmen (BRIESE et al. 2002) aus der vorhandenen Punktmenge für jede Befliegung ein DGM als regelmäßiges Raster mit einer Zellengröße von 1 m gerechnet. Dabei wurden *last pulse* Daten verwendet, eine Klassifikation der Punktwolke in Bodenpunkte und Nicht-Bodenpunkte war nicht notwendig.

Qualität der Digitalen Geländemodelle

Die Qualität einer digitalen Geländerepräsentation hängt grundsätzlich von der Genauigkeit der Methode zur Gewinnung der Stützpunkte, der räumlichen Dichte dieser Punktdaten und schließlich der eingesetzten Interpolationsmethode ab. Im Projekt wurde eine einfache, praxisnahe Abschätzung der Qualität der aus ALS Daten gewonnenen DGMs im Kontext der Verwendung für glaziologische Fragestellungen vorgenommen (GEIST et al. 2004). Folgende Aspekte wurden dabei betrachtet:

- Punktdichte und Punktverteilung
- Höhengenaugigkeit
- Lagegenauigkeit

Punktdichte und Punktverteilung ergeben sich aus dem Abtastwinkel des Scanners ($\pm 20^\circ$), der Messfrequenz, der Flughöhe über Grund, der Fluggeschwindigkeit und

dem Abstand der Fluglinien. Die visuelle Interpretation zeigt eine gleichmäßige Punktverteilung im Bereich von Fels- und Lockermaterialoberflächen, sowie in Bereichen mit Vegetationsbedeckung. Auch auf Eis- und Schneeoberflächen ist die Punktverteilung dicht und gleichmäßig. Lediglich bei Befliegungen im Sommer zeigen sich am Engabreen sowie in einem Fall am Hintereisferner in eng begrenzten Bereichen auf der Gletscherzunge Datenlücken. Diese sind möglicherweise auf das Fehlen von Verunreinigungen im Gletschereis („Blaueis“) und/oder dem Auftreten eines Schmelzwasserfilms zurückzuführen. An diesen Stellen zeigt die Gletscheroberfläche ein ähnliches Reflexionsverhalten wie Wasseroberflächen (Absorption bzw. gerichtete Reflexion und dadurch keine für eine Messung ausreichende Intensität des reflektierten Signals am Sensor).

Die *Höhengenaugigkeit* ist direkt abhängig von der Punktdichte und der Hangneigung (KRAUS 2004). Für die Überprüfung der *Höhengenaugigkeit* wurde im Rahmen des Projekts für Testflächen in der Umgebung (Fußballplätzen) aus tachymetrisch bestimmten Punktkoordinaten eine kontinuierliche Oberfläche gerechnet und der Z-Wert jeder ALS Koordinate mit dem entsprechenden Wert auf dieser Referenzoberfläche verglichen. Diese Testflächen wurden bei jedem Messflug überflogen und gescannt. Das Resultat auf der Testfläche in Norwegen zeigt, dass > 99 % aller verglichenen Punkte (Punktzahl jeweils > 2500) im Wertebereich $\Delta Z = \pm 0,3$ m liegen (GEIST et al., im Druck). Zusätzlich wurden am Engabreen während zwei Befliegungen zeitgleich differentielle GPS-Messungen auf dem Gletscher durchgeführt (insgesamt 5955 bzw. 4761 Punkte) und die Z-Koordinate jeder Messung mit dem entsprechenden Wert im ALS DGM verglichen. Das Resultat zeigt, dass auch in diesem Fall > 99 % aller verglichenen Punkte im Wertebereich $\Delta Z = \pm 0,3$ m liegen (GEIST et al., im Druck).

Eine anschauliche Möglichkeit zur Bewertung der *Lagegenauigkeit* ist der Vergleich mit klar abgegrenzten Objekten.

Nachdem ein Schwerpunkt der fachlichen Datenanalyse auf dem Erkennen und Quantifizieren von Veränderungen im vergletscherten Bereich liegt, ist die relative Lagegenauigkeit der multitemporal zu betrachtenden Datensätze von besonderer Bedeutung. In den Untersuchungsgebieten können zu diesem Zweck Gebäude (z. B. Alpenvereinshöhlen) untersucht werden. Für die Gebäude wird in jedem DGM der Umriss über das Isohypsenbild (Isohypsenintervall 0,5 m) abgeleitet. Durch den Vergleich von auf diese Weise abgeleiteten Gebäudeumrissen kann im österreichischen Untersuchungsgebiet eine relative Lagegenauigkeit auf ca. 1 m quantifiziert werden (GEIST et al. 2004).

Beispiele aus der Datenanalyse

Ein Beispiel für das Potenzial der ALS Daten hinsichtlich Detailerkennbarkeit und somit geomorphologischer und glaziologischer

Interpretationsmöglichkeit bietet der in Abb. 1 dargestellte Ausschnitt aus dem österreichischen Untersuchungsgebiet. Aufgrund der hohen Stützpunktdichte für die Interpolation wird die Topographie weitaus besser abgebildet als mit herkömmlichen Verfahren zur Geländeaufnahme. Selbst Details wie Gletscherspalten verschiedener Größe oder einzelne Eis- und Felsblöcke werden erfasst. Die unterschiedliche Rauigkeit von Eis-, Fels- und Lockermaterialoberflächen drückt sich in der Visualisierung des DGM optisch aus und lässt eine zuverlässige Ableitung von Gletschergrenzen zu.

Über die multitemporale Quantifizierung von Flächen- und Höhenänderungen (Abb. 2 und Abb. 3) lassen sich Volumenänderungen berechnen und – unter Berücksichtigung von Materialdichte und eisdynamischen Prozessen – Massenänderungen ableiten (GEIST et al., im Druck).

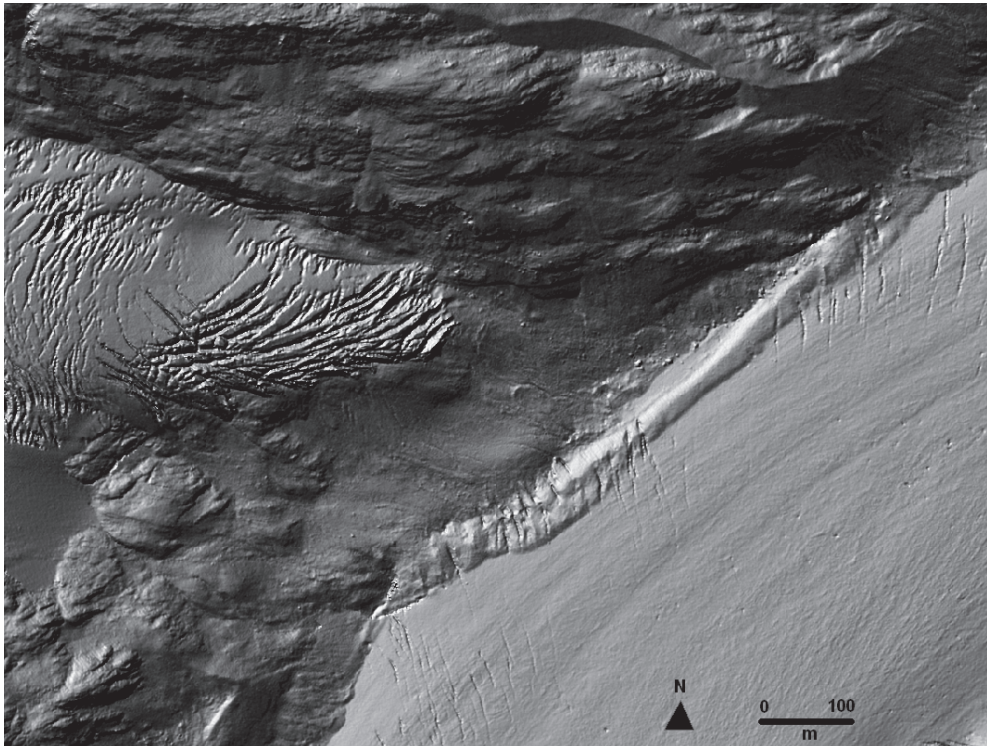


Abb. 1: Konfluenzbereich von Hintereisferner (rechts) und Langtauferejochferner (links). Beide Gletscher waren noch bis in die zweite Hälfte der 1990er Jahre miteinander verbunden. Dargestellt ist ein *Hillshade* eines ALS DGMs (Zellgröße 1 m).

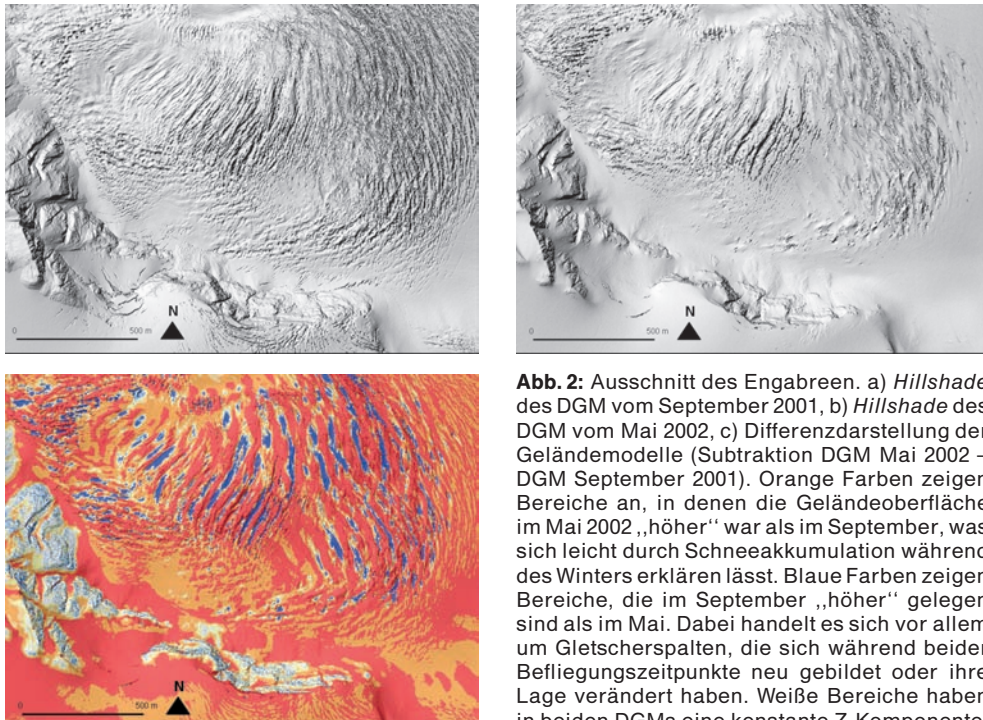


Abb. 2: Ausschnitt des Engabreen. a) *Hillshade* des DGM vom September 2001, b) *Hillshade* des DGM vom Mai 2002, c) Differenzdarstellung der Geländemodelle (Subtraktion DGM Mai 2002 – DGM September 2001). Orange Farben zeigen Bereiche an, in denen die Geländeoberfläche im Mai 2002 „höher“ war als im September, was sich leicht durch Schneeakkumulation während des Winters erklären lässt. Blaue Farben zeigen Bereiche, die im September „höher“ gelegen sind als im Mai. Dabei handelt es sich vor allem um Gletscherspalten, die sich während beider Befliegungszeitpunkte neu gebildet oder ihre Lage verändert haben. Weiße Bereiche haben in beiden DGMs eine konstante Z-Komponente. Hier handelt es sich um steilere Felsbereiche, auf denen sich kein Schnee ablagern konnte.

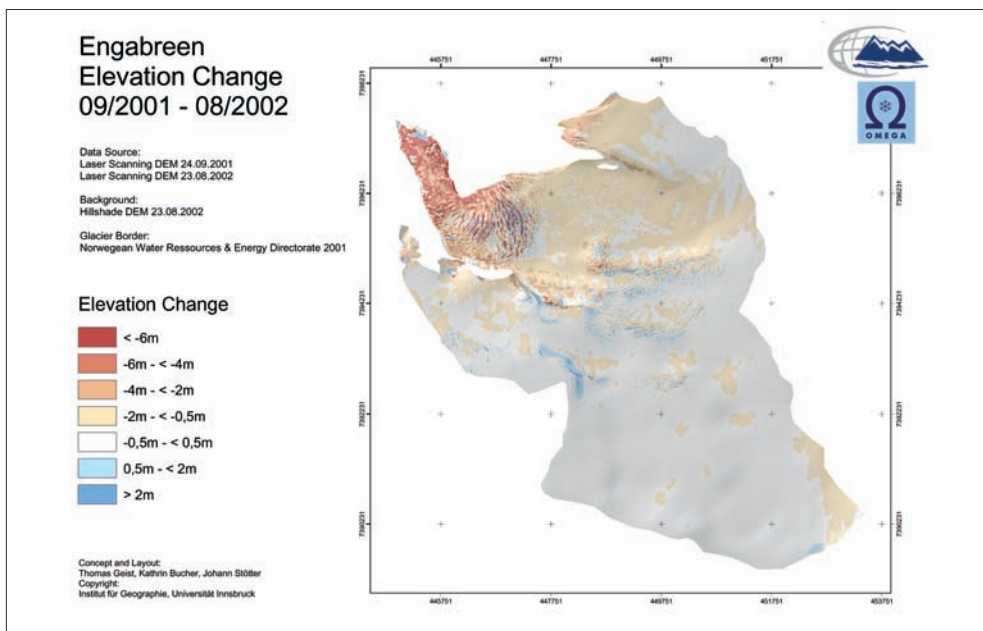


Abb. 3: Karte der Höhenänderungen am Engabreen für das glaziologische Jahr 2001/2002. Die glaziologische Massenbilanz für diesen Zeitraum beträgt 0.4 ± 0.7 m.

Schlussfolgerung

Aus ALS Daten lassen sich hoch auflösende DGMs mit sehr hoher Qualität für die gesamte Gletscherfläche in kurzer Zeit erstellen. Die Lagegenauigkeit liegt im Bereich von ca. 1 m, die Höhen Genauigkeit befindet sich im Dezimeterbereich. Um den vorliegenden Genauigkeitsanspruch photogrammetrisch zu erreichen, müsste man Luftbilder mindestens im Maßstab $> 1 : 5000$ aufnehmen.

Die Abgrenzung von Gletscherflächen, die Darstellung glaziologischer und geomorphologischer Phänomene sowie die Quantifizierung von topographischen Veränderungen kann mit genügend großer Genauigkeit vorgenommen werden. Dies kommt vor allem im schnee- und firnbedeckten Akkumulationsgebiet von Gletschern zum Tragen, wo die photogrammetrische Erfassung von Gletscheroberflächen (durch Auswertung von Luftbildern) aufgrund der meist fehlenden Oberflächentextur nur unbefriedigende Ergebnisse liefert. Dort kann man aus ALS Daten aufgrund der hohen Messpunktdichte die Gletscheroberfläche wesentlich detaillierter modellieren, was im Hinblick auf gletscherdynamische Prozesse interessant ist.

Im weiteren Verlauf der Datenauswertung werden folgende Themen aufgegriffen:

- Analyse der Signalintensität – LUTZ et al. (2003) haben bereits die grundsätzliche Möglichkeit der Klassifikation der Gletscheroberfläche (Unterscheidung in Eis-, Firn- und Schneeflächen) exemplarisch aufgezeigt,
- Eisdynamik – Ableitung eines Bewegungsfeldes der Gletscheroberfläche,
- Visualisierungspotenzial der ALS Daten für die wissenschaftliche Analyse bzw. (außer)universitäre Lehre.

Viel versprechend ist in dieser Hinsicht die gerade laufende systematische Auswertung der Datensätze von Hintereisferner und Kesselwandferner (10 ALS Aufnahmen zwischen 10/2001 und 9/2003).

3 Ausblick: Der Einsatz von Laserscannerdaten im alpinen Naturgefahrenmanagement

Am *alpS – Zentrum für Naturgefahrenmanagement* läuft seit Juli 2004 ein auf drei Jahre angelegtes Forschungsprojekt, das sich mit der Analyse von ALS Daten für Anwendungen im alpinen Naturgefahrenmanagement beschäftigt. In diesem Bereich besteht ein vielfältiger Bedarf an qualitativ hochwertigen topographischen Daten, z. B. als Input für die Modellierung geomorphodynamischer Prozesse oder als Grundlage für technische Verbauungsprojekte.

Im Rahmen des Projekts soll das Potenzial von Laserscannerdaten für verschiedene Aspekte im modernen Naturgefahrenmanagement anhand konkreter Fallbeispiele aufgezeigt werden. Ein Schwerpunkt der Arbeit wird dabei auf der Ableitung von Oberflächeneigenschaften (z. B. Rauigkeit) liegen.

In der Anfangsphase des Projekts stehen zwei Schwerpunkte im Vordergrund:

- Aufbau eines flexiblen Informationssystem für Laserscannerdaten (HÖFLE 2005). Die Anforderungen an das *Informationssystem* sind maximale Genauigkeit (d. h. direkter Zugriff auf einzelne Elemente der Punktwolke), keine Kosten (d. h. ausschließliche Verwendung von Open-Source Systemkomponenten) und umfassende GIS- und Statistikfunktionalität (wird durch Anbindung von GRASS und R realisiert).
- Festlegen von Auswertestrategien: die *kombinierte Analyse* von Laserscanner Daten (Geländemodelle und Intensitätswerte) und anderen Datentypen (z. B. hochauflösende Bilddaten) zur Objekterkennung und -klassifikation. Die *kombinierte Analyse* verschiedener Datentypen erhält in der Praxis eine immer größere Bedeutung (z. B. GÄHLER et al. 2004). Anhand von Daten des Landesvermessungsamts Vorarlberg werden objekt-basierte Ansätze mit unterschiedlichen Kombinationen von Datentypen getestet. Erste Ergebnisse für forstwissenschaftliche Fragestellungen (RUTZINGER 2005) sind vielversprechend und bilden die

Grundlage für weitere systematische Untersuchungen.

Die Datenverfügbarkeit im alpinen Raum ist – auch durch den verstärkten Einsatz von Laserscanningssystemen höherer Reichweite – stetig steigend. 2004 wurde die landesweite Befliegung des österreichischen Bundeslands Vorarlberg abgeschlossen, die flächendeckende Befliegung von Südtirol soll 2005 abgeschlossen werden, andere Gebietskörperschaften planen vollständige Befliegungen in den kommenden Jahren. Mit der Datenverfügbarkeit werden sich neue Anwendungsfelder von ALS Daten im alpinen Raum eröffnen. Der Bereitstellung von Methoden für Management und Analyse von ALS Daten – geeignet für große Datenmengen und kleinmaßstäbige Aussagen – wird daher wachsende Bedeutung zukommen.

Danksagung

Das Forschungsprojekt OMEGA wurde von der Europäischen Union finanziert (5. Rahmenprogramm, Kontrakt EVK2-CT-2000-00069). Ein besonderer Dank gebührt der TopScan GmbH für die gute Kooperation, dem Landesvermessungsamt Vorarlberg für die Bereitstellung von Testdaten sowie NVE (Norwegische Wasser- und Energiebehörde) für die gemeinsame Auswertung der Engabreen Daten.

Literatur

- BRIESE, C., PFEIFER, N. & DORNINGER, P., 2002: Applications of the Robust Interpolation for DTM determination. – In: Proceedings, ISPRS workshop on Photogrammetric Computer Vision, Graz. CD-ROM.
- HÖFLE, B., 2005: Entwicklung eines Informationssystems für Laserscannerdaten mit open source Software. – Unveröffentlichte Diplomarbeit am Institut für Geographie der Universität Innsbruck.
- GÄHLER, M., SCHIEWE, J., BOHMANN, G. & JANOWSKY, R., 2004: Kombination von hochauflösenden multispektralen Bilddaten und Laserscanningdaten zur Biotoptypenklassifizierung. Mehrwert oder Mehraufwand? – In: STROBL, J. et al. (Hrsg.): Angewandte Geoinformatik 2004 – Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 2004: 151–156.
- GEIST, TH., LUTZ, E. & STÖTTER, J., 2003: Airborne laser scanning technology and its potential for applications in glaciology. – Proceedings, ISPRS Workshop on 3-D reconstruction from airborne laserscanner and INSAR data, Dresden: 101–106.
- GEIST, TH., HELLER, A. & STÖTTER, J., 2004: Digitale Geländemodelle aus Airborne Laserscanningdaten – eine qualitative hochwertige Grundlage für glaziologische Fragestellungen. – In: STROBL, J. et al. (Hrsg.): Angewandte Geoinformatik 2004 – Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 2004: 163–171.
- GEIST, TH., ELVEHØY, H., JACKSON, M. & STÖTTER, J., im Druck: Investigations on intra-annual elevation changes using multitemporal airborne laser scanning data – case study Engabreen, Norway. – *Annals of Glaciology*, Vol. 42.
- GÜTLINGER, M., SCHLEYER, A. & SPOHRER, M., 2001: Flächendeckendes, hochgenaues DGM von Baden-Württemberg. – *Mitteilungen des Vereins für Vermessungswesen*, 48–2: 63–77.
- HYYPÄ, J., HYYPÄ, H., LITKEY, P., YU, X., HAGGREN, H., RÖNNHOLM, P., PYYSALO, U., PITKÄNEN, J. & MALTAMO, M., 2004: Algorithms and methods of airborne laser scanning for forest measurements. – *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, XXXVI, PART 8/W2: 82–86.
- JACKSON, M., SHAROV, A., GEIST, TH., ELVEHØY, H. & PELLIKKA, P., 2004: OMEGA – User Requirement Document. Interner Projektbericht.
- KRAUS, K., 2004: Photogrammetrie, Band 1: Geometrische Informationen aus Photographien und Laserscanneraufnahmen. – 7. Aufl., Walter de Gruyter Verlag, Berlin.
- RUTZINGER, M., 2005: Identifikation und Klassifikation von Objekten und Oberflächeneigenschaften aus Laserscannerdaten – Auswertestrategien mit eCognition für forstliche Fragestellungen. – Unveröffentlichte Diplomarbeit am Institut für Geographie der Universität Innsbruck.

Anschriften der Autoren:

Dipl.-Geogr. THOMAS GEIST

Mag. BERNHARD HÖFLE

Mag. MARTIN RUTZINGER

alpS GmbH –

Zentrum für Naturgefahren Management

Grabenweg 3, A-6020 Innsbruck, Österreich

Tel.: +43 512 392929-0

Fax: +43 512 392929-39

e-mail: geist@alps-gmbh.com

hoefle@alps-gmbh.com

rutzinger@alps-gmbh.com

<http://www.alps.gmbh.com>

Prof. Dr. JOHANN STÖTTER

Universität Innsbruck

Institut für Geographie

Innrain 52, A-6020 Innsbruck, Österreich

Tel.: +43 512 507-5401

Fax: +43 512 507-2895

e-mail: hans.stoetter@uibk.ac.at

<http://www.geowww.uibk.ac.at>

Manuskript eingereicht: Januar 2005

Angenommen: Februar 2005

Modeling of Land-Use and Land-Cover Change (LUCC) in Western Africa using Remote Sensing

HANS-PETER THAMM, MICHAEL JUDEX & GUNTER MENZ, Bonn

Keywords: LUCC modeling, change detection, classification, decision tree, IMPETUS, Benin (West Africa)

Zusammenfassung: *Modellierung von Landnutzungs- und Landbedeckungsänderungen in West-Afrika mit Hilfe von Fernerkundung.* Der Beitrag behandelt die Erfassung und Modellierung von Landbedeckungs- und Landnutzungsänderungen in einem Untersuchungsgebiet in den wechselfeuchten Tropen in West-Afrika (Einzugsgebiet des Ouémé in Benin) im Rahmen des IMPETUS Projekts. Für die Erfassung von landwirtschaftlichen Flächen aus Fernerkundungsdaten wird ein Entscheidungsbaum-Klassifikator eingesetzt. Durch Analyse multitemporaler Satellitenbilder werden die Veränderungen ermittelt und durch die Einbeziehung von „driving forces“ das den Wandel bestimmende Prozessgefüge erklärt. Auf der Grundlage dieses Prozessverständnisses wird eine Modellierungskette aufgebaut, um Szenarien zukünftiger Entwicklung der Landnutzung- und Landbedeckung zu berechnen. Diese Ergebnisse sind wichtige Informationsgrundlagen für Entscheidungsträger in Sinne einer nachhaltigen Entwicklung in einem sich rasch wandelnden Ökosystem.

Summary: This article discusses the assessment and modeling of land-use and land-cover changes in a study area in the semi-humid tropics in West-Africa (Catchment of the upper Ouémé in Benin) within the framework of the IMPETUS project. A decision tree classification method was used to derive agriculturally used areas from remote sensing data. Changes in the extent of agricultural area was analysed on the basis of multi-temporal satellite data. The underlying LUCC process and driving forces are explained using additional socio-economic data. Based on this process understanding a model chain was set up to compute scenarios of future LUCC development. These results serve as an important basis for decision makers with regard to sustainable development in a rapidly changing system.

1 Introduction

The impacts of global change on land cover have a strong spatio-temporal component, causing them to be very unevenly distributed over the earth's surface. According to statistics published by the United Nations Environmental Programme (UNEP 2000), more than 500 million hectares of land, including agricultural areas, is affected by land degradation in Africa. The annual rate of deforestation is currently greater than 10 million hectares. In Northwest and West Africa these land use changes are additionally

superimposed and increased by a dry period, now having lasted for more than 30 years. This has led to a significant shortage of sweet water resources – the greatest problem water management faces in the 21st century (OBASI 1999). These facts point to a dramatic change of the cover of land surfaces with serious impacts on processes of the ecosystem, biogeochemical cycles and the human societies affected by it. The investigation of these changes and the upset of management plans for a sustainable use of fresh water is an important challenge for the scientific community. Therefore the IMPE-

TUS project (Integrated Approach to the Efficient Management of Scarce Water Resources in West Africa) based at Cologne and Bonn Universities was founded.

Due to the fact, that vegetation is a key parameter within the hydrological cycle, one central focus of the ongoing research is a satellite-based detection of so called “Hot Spots”, especially endangered areas with high rates of land cover change. Using a multidisciplinary approach, colleagues from a number of scientific disciplines (meteorology, hydrology, botany, geography, soil science, hydrogeology, agricultural science and cultural anthropology) are involved in investigating the details of the hydrological cycle under various conditions.

Recording of land surface by employing various optical sensor systems by the “Land Surface” module is the basis for the development of model-based scenarios of land use change. The approaches to model building are mainly founded on the concepts developed by the international Land Use and Land Cover Change (LUCC) group of the International Human Dimension Program for Global Environmental Change (IHDP). The results obtained are meant to be a meaningful contribution for integrative strategic planning in the future, with the aim of minimizing the ecological and socio-economic impacts of these changes.

After focusing the remote sensing activities in the first phase of the project (2001–2004) on the compilation of time series of land cover and land use maps (IMPETUS 2003), the present second phase (2004–2006) is concerned with, 1. a better understanding of the underlying determining factors for the changeability of land cover in order to parameterise it, and 2. to develop regional models of land use change on the basis of this comprehension of the processes involved.

2 Area of Investigation

The catchment of the Upper Ouémé is the study area which is situated in the north west of the Republic of Benin (location of the catchment between $8^{\circ} 58'$ and $10^{\circ} 11'$ N and

$1^{\circ} 30'$ and $2^{\circ} 47'$ E) and covers an area of estimated 10000 km^2 (Fig. 1).

The climate of the study area is tropical semi-humid (STRAHLER & STRAHLER 2000, WILL 1996). It belongs, more precisely, to the Sudan–Guinea Zone with a unimodal rainfall distribution. There is a characteristic change in the humid conditions between the rainy season (end of March until end of September) and the dry season (October to March). At the Parakou weather station the mean annual rainfall is approximately 1100 mm with 20% variability (WILL 1996).

Topography

The terrain of the study area shows little difference in altitude (between 300 m asl. and 400 m asl.), except for some isolated inselbergs in the vicinity of the geological “Kandi fault”.

Vegetation

The vegetation within the Upper Ouémé Catchment belongs to the transition zone

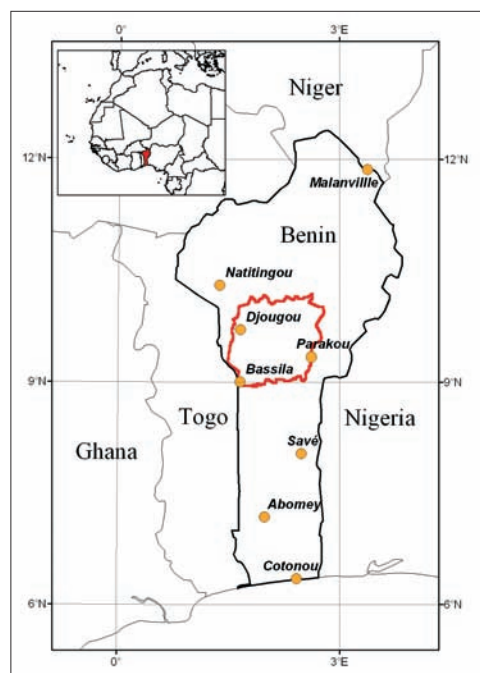


Fig. 1: Location of the study area (upper Ouémé catchment) in Benin, West-Africa.

between the “northern Guinea Zone” and “southern Sudan Zone” which is characterised by forest and wood savannas (ADJANOHOUN & AKE 1967).

Wide parts of the vegetation within the catchment are subject to bush fires within the dry period. These fires are mainly caused by humans. Grazing by cattle also modifies the species composition. Additionally, the influence of farming, mainly shifting cultivation, leads to a heterogeneous vegetation pattern within the study site (IMPETUS 2003).

3 Population and economy

Benin covers an area of approximately 114 922 km² and had 6 752 600 inhabitants in 2002 (INSAE 2004). There was a strong population growth of around 3.2 % (INSAE 2004) between 1992 and 2002. The average population density is 59 inhabitants per km². The population is unequally distributed; in the southern part of Benin, in the department Atlantique, 249 inhabitants per km² were registered in 2002, whereas in the north western district of Atacora, only 26.5 inhabitants lived on a square kilometre (INSAE 2004).

Due to high population density in the northern and southern departements of Benin as well as problems with exhausted soils and decreasing precipitation, migration to less dense populated areas within Benin has been observed (DOEVENSPECK 2004). The study area, which has a comparatively low population density of 28 inhabitants per km², is subject to immigration and agricultural colonization.

Agriculture takes place mostly on a small scale. Crop production is dominated by subsistence farming, but production for regional markets is also an important source of income. Production is undertaken mostly without any machinery. The main crops are yams, manioc, maize, millet and peanuts. Cotton and cashew are the most important cash crops. Due to a national credit system and organized production networks, fertilizer and pesticides are de facto only available for cotton. For the other crops it lacks

of money in most of the small scale farming households.

Land-use classification in the study area is a challenge because of strong inner annual vegetation dynamics, small field sizes, a heterogeneous landscape and strong atmospheric interferences.

4 Data

In the study area, strong changes in land-use and land-cover (LUCC) have taken place over the last 10 years. To assess the land-cover and land-use changes in the study area, LANDSAT data from three different time steps are utilised. One is from LANDSAT TM (13.12. 1991), the two other from LANDSAT ETM+ (26.10.2000 and 29.10.2001). Data taken in October at the end of the rainy season are best suited for land-cover classification because vegetation types are easily distinguishable and the bush fire season has not yet begun. Additionally atmospheric influence is low due to the absence of clouds and dust. Unfortunately, for 1991 only a scene acquired in December was available, so constraints because of burned areas have to be kept in mind.

5 Methods

The land-use and land-cover changes in the study area are mainly caused through expansion of agricultural land. To extract only one class of interest (agricultural used areas), a decision tree classification approach was developed. Decision trees are tools to segment multidimensional datasets (e. g. multi-spectral LANDSAT data) starting from a root node to as many end leaves as necessary.

The core of this method is the decision rule (split), which divides the dataset in a binary way into subsequent portions. There are many automated solutions for decision rules (FRIEDEL & BRODLEY 1997), but in this study a set of thresholds derived by training areas are used. The test at each node will produce a binary information output, for example:

$$X_{ni} = \begin{cases} 1 & \text{if } k_i \leq u_n \\ 0 & \text{if } k_i > u_n \end{cases}$$

where X_{ni} is the test result for test n , k_i , the tested pixel and u_n the set threshold. If X is tested positive, then the recognized pixel is passed on to the next decision until the last decision node is reached and all pixels are assigned to a class.

It was easy to separate a class that includes fields from all other classes (natural vegetation etc.) through channel 5 of the LANDSAT data which is sensitive to the water content of surfaces. After this first separation, a further six splits separated similar classes (village, heavy degraded areas, inselberg) until a final target class was reached. Separation from fallows, which are part of the local production system, is not difficult because natural vegetation is covering the areas already in the first fallow period.

The performance of this classification approach was tested with ground truth data and show good results. Comparison with GPS-measured field areas indicates that 82% were classified correctly. However, errors are possible if objects are very small and mixed pixels occur. This is likely on small pathways or very young settlements because spectral signal of thatched huts can't be separated from agricultural fields.

To apply the decision tree to all datasets, the satellite data have to be radiometrically comparable. A dark object subtraction technique was applied (CHAVEZ 1996) before the

data of both dataset are classified. Nevertheless, the boundary conditions in the decision tree classifier had to be slightly adapted for the scene from 1991 to exclude areas which were affected by bushfires. Due to spatially inhomogeneous atmospheric distortions in the 2001 data, which could not be corrected with the COST-Model, the scene was separated into a clear and a hazy part using the tasselled cap transformation (CRIST & KAUTH 1986, HUANG et al. 2002). For these two parts the parameters in the decision tree classification were adjusted to allow for different reflectances.

Based on these results, the changes of LUCC were calculated. Therefore a post classification approach was used. Long term changes were visible comparing the data of 1991 and 2000, the short term dynamics were identifiable in the one year period between 2000 and 2001.

6 Change assessment

The results of the decision tree classification contain information about agricultural areas, for three different time steps (1991, 2000 and 2001). To facilitate process understanding with regard to the observed changes, classification was performed respectively for the separate administrative units within the catchment. These five municipalities show different configurations concerning population dynamics, land-use history and land-cover. Parakou and Djougou have a long history of agricultural

Tab. 1: Changes in population and used areas for agriculture (Source: INSAE 2004 and own calculations).

Municipality	Area [km ²]	Population 1992		Population 2002		Population growth rate [1992–2002]
		absolute	density	absolute	density	
Bassila	5727	46 416	8,10	74 664	13,04	4,87
Djougou	3932	134 099	34,11	181 175	46,08	3,05
N'Dali	3759	45 334	12,06	66 367	17,66	3,88
Parakou	456	103 577	226,92	148 451	325,23	3,66
Tchaourou	6855	66 382	9,68	106 661	15,56	4,86

land use, whereas N'Dali, Bassila and Tchaourou are characterised by large areas of natural savannah.

Tab.1 shows some basic figures of the population and the changes between 1992 and 2002. All municipalities show high population growth values in the last ten years. Population density ranges between 13 and 325 inhabitants per km² in 2002, whereas the municipality of Parakou represents only urban area and is therefore not com-

parable. The highest growth rate is not found in the urban areas but in the less dense populated rural municipalities (Bassila, Tchaourou). This is caused by high in-migration by farmers from the north-western districts (mainly Atacora) and from abroad who are searching for fresh and fertile soils. The change detection analyses affirm that the highest change rates occur there (Tab. 2, Fig. 2).

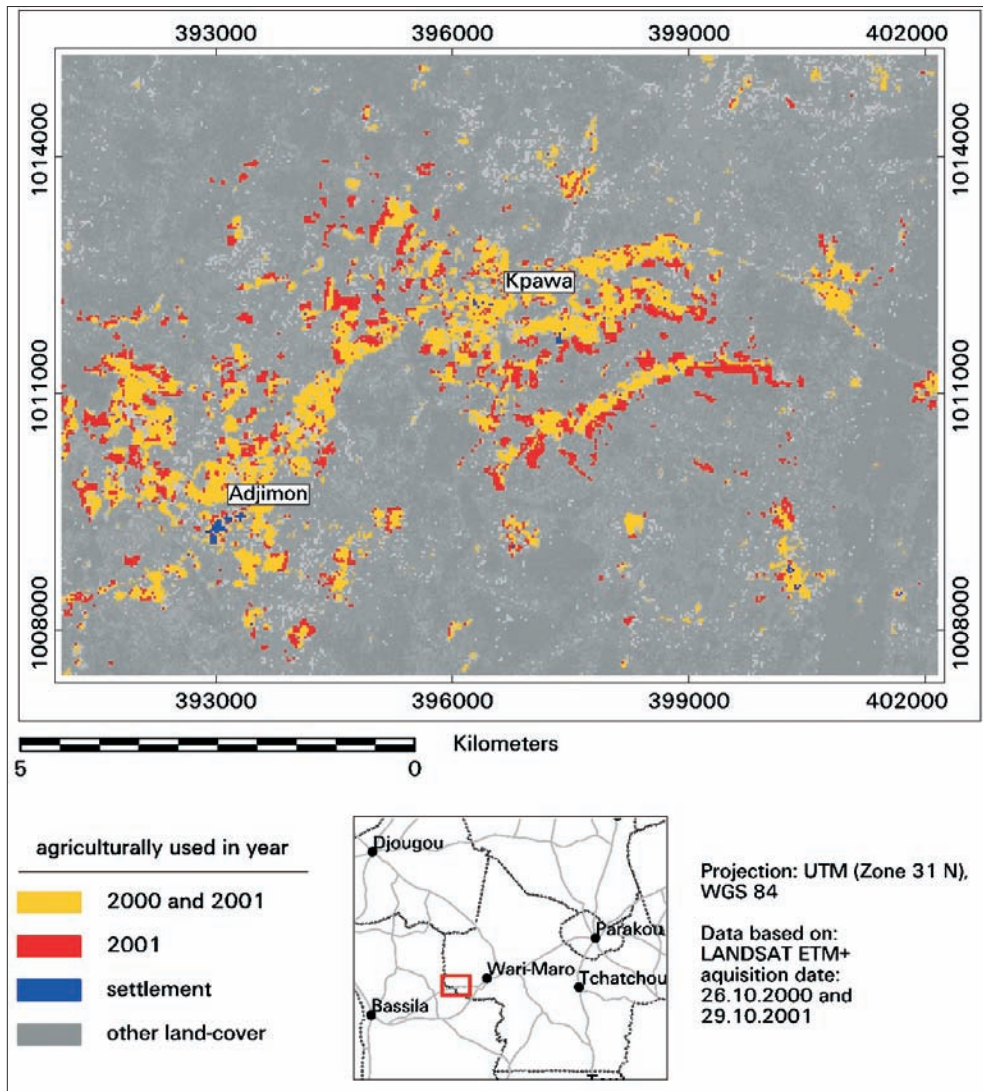


Fig. 2: An example of agricultural colonization in the study area. Results derived from LANDSAT data.

Tab. 2: Changes in agriculturally used areas (Source: own calculations).

Municipality	Area [km ²]	% field areas of total	
		1991	2000
Bassila	5727	2,13	5,02
Djougou	3932	16,1	25,35
N'Dali	3759	6,28	9,31
Parakou	456	25,6	40,37
Tchaourou	6855	2,96	10,54

In contrast, some parts of the study area had a long lasting history of agricultural land-use and show comparatively high population densities (mainly around the city of Djougou). Farmers have increasing problems in maintaining the necessary fallow cycle. In these areas, some surfaces show evidence of heavy degradation and lack fertile soils. In the near future, increased pressure on the ecosystem and emigration seems likely.

By using remotely sensed data, not only are analyses on a spatially aggregated level possible, but also spatially explicit findings can be derived. In Fig. 2, agricultural colonization between 2000 and 2001 is illustrated. In this example, a high inflow of migrants took place since an existing small path was enlarged to a road in 1997 (see also DOEVEN-SPECK 2004).

Within five years about 20 new villages were created between Wari-Marou and Bassila. The extension of field areas into savannah area is apparent in the map.

7 LUCC Modeling

For sustainable development it is important that decision makers have sound information about possible future developments under specific boundary conditions (scenarios). In this context, the future state of land-use and land-cover is an important parameter with regard to the hydrologic cycle, food security and conflict avoidance. Therefore a number of land-use land-cover

change (LUCC) models have been developed within the last decades. Due to the different tasks they have been developed for, a huge variety of concepts, complexity and needed input parameters can be found (BRIASSOULIS 2000, U.S. EPA 2000, PARKER et al. 2002).

Therefore it was a challenge to choose a model concept for our study area which met all the demands regarding spatial resolution, availability of input parameters, set up and computing time. It represented an asset that a sound process understanding of the driving forces, the actors and the spatial pattern of the land-use and land-cover changes was available in reason of intensive interdisciplinary research within the IMPETUS project (IMPETUS 2003).

After having extensively tested different LUCC models, a model chain was constituted (Fig. 3). The main model used, CLUE-S (Conversion of Land-use and its Effects), was developed at Wageningen University (for model description see VERBURG et al. 2002). It represents a spatially explicit dynamic model and had been successfully tested in different tropical environments (VERBURG et al. 2004, VERBURG et al. 2004a).

In land-use modelling, especially in developing countries, the availability of sound information about the input parameter is not always guaranteed. To overcome this problem, our model chain utilizes the models in different spatial resolutions (Fig. 3).

On a local scale along a road of 40 km length, it works in a spatial resolution of 30 m × 30 m. For this area, the available data base is comparatively good because a detailed survey concerning the socio-economic conditions (IMPETUS 2003) had been undertaken.

For the regional scale covering an area of 100 km × 100 km, the spatial resolution is 90 m × 90 m. For the whole catchment of the Ouémé in the sub-national scale (100 km × 450 km), the modelled pixel size amounts to 1000 m × 1000 m. It is an interesting research topic to investigate the scale dependency of the results. At the local scale, a detailed process understanding can be gained and transferred into smaller scale

models. On the other hand, the results of sub-national and regional scale can be used as external driving forces for larger scale modelling. With this approach it is possible to deal with reduced availability of input data and the higher complexity of the LUC processes by moving to smaller spatial scales.

The setup of the CLUE-S model requires probability layers for each land-cover class, conversion information and future demand scenarios. Influences of different driving forces on land-use and land-cover were calculated with logistic regression including as predictors:

- distance to road
- distance to important settlements
- population density
- soil suitability
- protected forests.

To assess the goodness of fit of the logistic regression models, the ROC method was used (PONTIUS & SCHNEIDER 2000). This is an estimation similar to the R^2 for ordinary linear regression equations. The area under

the calculated ROC-curve gives an estimation value which is between 0.5 (no explanation) and 1 (perfect explanation). For the land-cover classes in the study area those values are between 0.69 and 0.99 which means, that the chosen driving forces are able to explain the land-cover situation quite well.

Based on the yearly demand for each land-cover/land-use the model try to find a solution for every calculated year based on the probably data and conversion restrictions. This is done through an iterative procedure.

The first model run simulated the basic land-use and land-cover patterns in an acceptable manner (Fig. 4). The main drivers for agricultural land-use are distance to street and population density, which is visible in the modelled output result. Distance to street shows a slightly overrepresentation in the modelled result, which is due to high prediction power in the logit equations.

Despite these promising first results some questions remain unsolved. For instance, the boundaries of the protected forest,

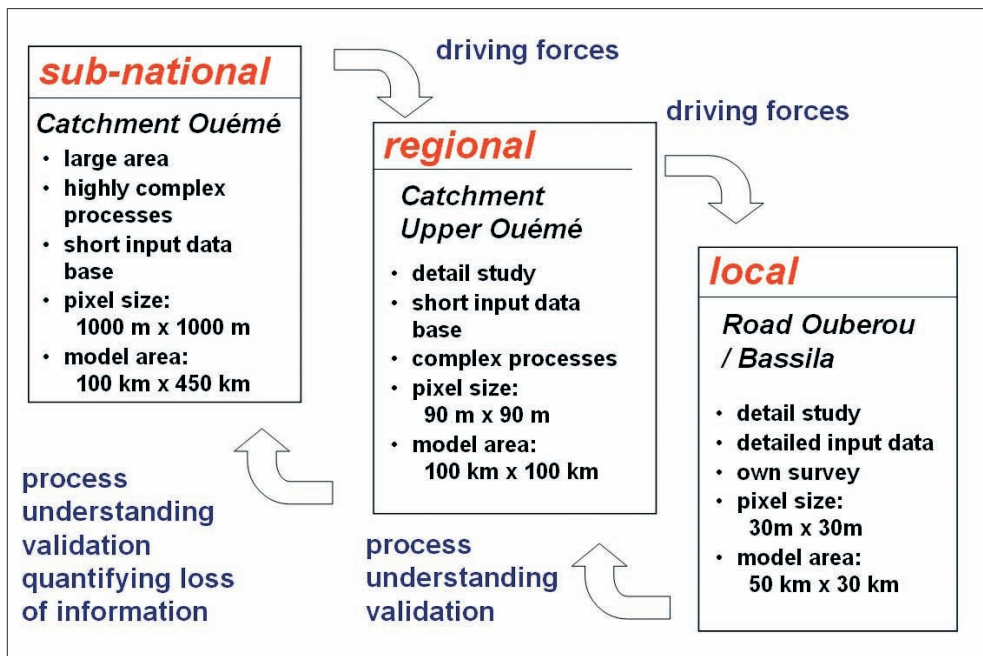


Fig. 3: Scheme of the model chain to compute scenarios of future land-use and land-cover.

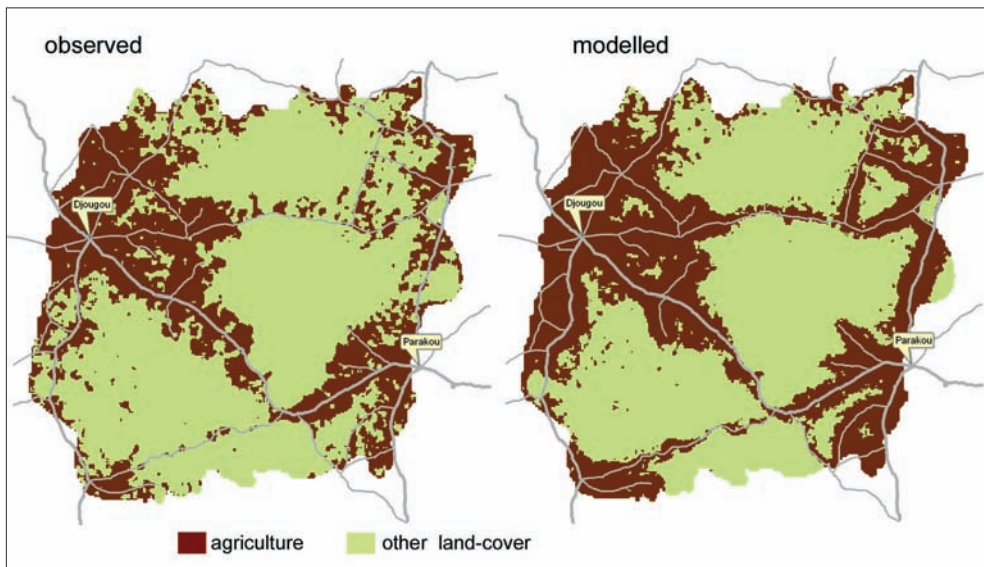


Fig. 4: Agriculturally used areas in the upper Ouémé Catchment for the year 2000. Left: derived from LANDSAT, right: modelled with CLUE-S (starting from 1991).

where agriculture is prohibited by law, are sometimes violated by settlers. Another point is that, especially in Africa, human behaviour is strongly influenced by religious or social constraints (e. g. Voodoo). Such driving forces are very hard to assess and to “pixelise” but they can have strong influence on the pattern of change. To deal with this “soft” parameter represents a challenge for future studies.

8 Conclusions

The study area in central Benin has been subjected to strong land-use and land-cover changes within the last decade caused by accelerating agricultural expansion. In this paper, a decision tree classifier is used to assess agricultural areas for different years. The extension rate of agricultural land is heterogeneous due to history of land use, actual migration rates and availability of arable land. Based on the results of the change detection, intensive field work in the framework of the IMPETUS project and additional socio-economic data, a detailed process understanding was established. This lead to the set up of a land-cover and land-

use model chain in different spatial scales which is the framework to compute scenarios for future developments. The first outcome of the model regarding agricultural expansion was promising and proves that the concept can provide basic information for decision makers and sustainable management concepts.

Acknowledgements

This work was supported by the Federal German Ministry of Education and Research (BMBF) under grant No.01 LW 0301A and by the Ministry of Science and Research (MWF) of the federal State of Northrhine-Westfalia under grant No. 223-21200200.

References

- ADJANOHOON, E. & AKE ASSI, L., 1967: Inventaire floristique des forêts claires subsoudanaises et soudanaises en Côte d'Ivoire septentrionale. – Ann. Univ. Abijan, Fasc. Sc., Vol. 3: 89–147.
- BRIASSOULIS, 2000: Analysis of Land Use Change: Theoretical and Modeling Approaches. – The Web Book of Regional Science. (www.rri.wvu).

- edu/regscweb.htm). (WV: Regional Research Institute) West Virginia University.
- CHAVEZ, P.S., 1996: Image-based atmospheric corrections – revisited and improved. – *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* **62** (9): 1025–1036.
- CRIST, E.P. & KAUTH, R.J., 1986: The tasseled cap de-mystified. – *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* **52** (1): 81–86.
- DOEVENSPECK, M., 2004: Migration im ländlichen Benin – Sozialgeographische Untersuchungen an einer afrikanischen Frontier. – *Studien zur Geographischen Entwicklungsforschung*, Saarbrücken, S. 282, in press.
- FRIEDL, M.A. & BRODLEY, C.E., 1997: Decision tree classification of land cover from remotely sensed data. – *Remote Sensing of Environment* **61**: 399–409.
- HUANG, C., WYLIE, B., HOMER, C., YANG, L. & ZYLSTRA, G. (2002): Derivation of a tasseled cap transformation based on LANDSAT 7 at-satellite reflectance. – *Int. Journal of Remote Sensing* **23** (8): 1741–1748.
- IMPETUS (2003): IMPETUS Westafrica. Final Report 01.05.2000–30.04.2003. Cologne.
- INSAE (2004): Troisième Recensement Général de la Population et de l'Habitation, Février 2002. Résultats définitifs. Cotonou.
- OBASI, G.O.P. (1999): Hydrology and water resources: a global challenge for WMO. – Lecture at the 14th Conference on Hydrology – 79th Annual Meeting of the American Meteorological Society. Dallas, Texas.
- PARKER, D.C., MANSON, S.M., JANSSEN, M.A., HOFFMANN, M.J. & DEADMAN, P. (2003): Multi-Agent Systems for the Simulation of Land-Use and Land-Cover Change: A Review. – *Annals of the Association of American Geographers* **93** (2): 314–337.
- PONTIUS, R.G. & SCHNEIDER, L.C. (2000): Land-use change model validation by a ROC method. – *Agriculture, Ecosystems and Environment* **85**: 269–280.
- STRAHLER, A. & STRAHLER, A. (2000): *Introducing Physical Geography*. – New York.
- UNEP (2000): GEO-2000.
<http://www.grid.unep.ch/geo2000/ov-e/0004.htm>, accessed at the 05.01.2005.
- U.S. EPA (2000): *Projecting Land-Use Change: A Summary of Models for Assessing the Effects of Community Growth and Change on Land-Use Patterns*. EPA/600/R-00/098. – U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, Cincinnati, OH. 260 pp.
- VERBURG, P.H., SOEPBOER, W., VELDKAMP, A., LIMPIADA, R., ESPALDON, V. & MASTURA, S.S.A. (2002): Modeling the Spatial Dynamics of Regional Land Use: The CLUE-S Model. – *Environmental Management* **30** (3): 391–405.
- VERBURG, P.H., OVERMARS, K.P. & WITTE, N. (2004): Accessibility and land use patterns at the forest fringe in the Northeastern part of the Philippines. – *The Geographical Journal* **170** (3): 238–255.
- VERBURG, P.H., VELDKAMP, A., ENGELSMAN, W., VAN ZALINGE, R., VAN MENSVOORT, M.E.F. & OVERMARS, K.P. (2004a): The use of models to assess the impact of land use change on ecological processes: case-studies of deforestation in SE Asia. – GEROLD, G., FREMEREY, M. & GUHARDJA, E. (Hrsg.): *Land use, nature conservation, and the stability of rainforest margins in Southeast Asia*. – 475–494 (Springer-Verlag) Berlin.
- WILL, H. (1996): *Fernerkundung und Weideökologie in der subhumiden Savannenzone NW-Benin – Anwendung der Satellitenfernerkundung (LANDSAT-TM, SPOT) im Rahmen von weideökologischen Aufgabenstellungen*. – *Karlsruher Schriften zur Geographie und Geoökologie*; Institut für Geographie und Geoökologie der Universität (TH) Karlsruhe.

Anschriften der Autoren:

Dr. HANS-PETER THAMM
 Remote Sensing Research Group, Institute for Geography, University of Bonn
 Meckenheimer Allee 166, 53115 Bonn, Germany,
 thamm@rsrg.uni-bonn.de

Dipl.-Geogr. MICHAEL JUDEX
 Remote Sensing Research Group, Institute for Geography, University of Bonn
 Meckenheimer Allee 166, 53115 Bonn, Germany,
 judex@rsrg.uni-bonn.de

Prof. Dr. GUNTER MENZ
 Remote Sensing Research Group, Institute for Geography, University of Bonn, Meckenheimer Allee 166, 53115 Bonn, Germany,
 menz@rsrg.uni-bonn.de

Manuskript eingereicht: Januar 2005

Angenommen: Februar 2005

Die Aktualisierung der »Digitalen Grundkarte Landwirtschaft« in Thüringen mit Hilfe von Fernerkundungsdaten

VOLKER HOCHSCHILD, Tübingen, CHRISTIAN WEISE & PETER SELSAM, Jena

Keywords: remote sensing, updating of maps, digital basemap agriculture, Thuringia, orthophoto

Zusammenfassung: Im Rahmen des Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystems (InVeKoS) benötigt der Freistaat Thüringen aktuelle Informationen über die Nutzungsarten und Schlaggrenzen landwirtschaftlicher Nutzflächen. Bisher wurde die flächendeckende Inventarisierung auf der Basis von nur heterogen aktualisierten Orthophotos bewerkstelligt. Ziel der vorgestellten Studie ist die Analyse, ob die Orthophotos eventuell durch satellitengetragene Fernerkundungsdaten ersetzt werden können und die Entwicklung einer zeit- und kostensparenden operationellen Auswertemethode, die sowohl Change-Detection-Methoden als auch optimierte Geländekontrollen beinhaltet.

Summary: *Use of Remote Sensing Data for Updating of the Digital Basemap Agriculture in Thuringia.* On the base of the Integrated Agricultural Administration and Controlling System (InVeKoS) the Federal State of Thuringia (Germany) has a strong interest in actual, area covering land use types and borders. Until now the area covering inventory is based on optical orthophotos, which are updated only heterogeneously. Goal of this study is to analyze whether these orthophotos might be replaced by spaceborne remote sensing data and the development of a time and cost efficient operational evaluation method, which comprises change-detection-methods as well as optimized field control.

1 Einleitung

Laut EU-Recht sind alle Bundesländer ab 01.01. 2005 dazu verpflichtet, flächendeckende Informationen über landwirtschaftliche Nutzflächen digital in Geographischen Informationssystemen bereitzustellen. In Thüringen wird das in Form der Digitalen Grundkarte Landwirtschaft (DGK-Lw) als Teil des Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystems (InVeKoS) durchgeführt. Zu ihrer Erstellung sind aktuelle Informationen über Landnutzungstypen und Schlaggrenzen notwendig.

Bisher wurde die Digitale Grundkarte Landwirtschaft anhand visueller Interpretation von SW-Orthophotos aktualisiert. Leider konnte jedes Jahr aber nur ein kleiner Bereich von Thüringen befliegen werden, so dass sich im Hinblick auf den Aktualitäts-

status ein sehr heterogener „Flickenteppich“ ergab. Daraus ergab sich die Zielsetzung für die von der Universität Jena in Zusammenarbeit mit der Firma HUGIN GmbH und der Thüringer Landesanstalt für Wald, Jagd und Fischerei durchgeführte Studie:

- die gleichzeitige Erfassung der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche Thüringens mit satellitengestützter Fernerkundung,
- die Entwicklung eines operationellen Verfahrens zur flächendeckenden Datenauswertung,
- die Bewertung der Fernerkundungsmöglichkeiten hinsichtlich Kostenersparnis und Aktualisierung der DGK-Lw sowie
- die Bestimmung der Landnutzungsänderung zur Optimierung der Vor-Ort-Kontrolle.

Im Einzelnen stellte sich daher die Aufgabe der Erkennung der realen Nutzungsgrenzen, der Trennung zwischen extensiv bewirtschaftetem Grünland und Ackerland sowie der Differenzierung zwischen verschiedenen Feldfrüchten. In Anlehnung an bestehende Untersuchungen zur landwirtschaftlich orientierten Auswertung optischer Fernerkundungsdaten (GONZALES 2001, LUDOWICY et al. 2002, OWE et al. 2004) erfolgte die multitemporale Analyse von IRS-1D und Landsat 7 ETM Daten. Dabei ging es vor allem um die Ableitung der Schlaggrenzen aus den räumlich hoch auflösenden panchromatischen IRS-1D-Daten (5,8 m). Leider erlauben die Witterungsbedingungen in Mitteleuropa mit häufiger Bewölkung nur wenige Aufzeichnungen optischer Satellitensysteme, keine optimalen Bedingungen für die Beobachtung der phänologischen Entwicklung. Hier liegt der wesentliche Vorteil von satellitengestützten Mikrowellensystemen, die kontinuierliche Datenakquisitionen ermöglichen. Landwirtschaftliche Auswertungen von Radardaten wurden schon von GOODING et al. 1989 vorgestellt. Verschiedene Untersuchungen nutzten flugzeuggetragene Systeme (SCHMULLIUS 1992, FREEMAN et al. 1994, TACONET et al. 1994, SCHMULLIUS et al. 1994, SCHMULLIUS & NITHACK 1996, HEROLD et al. 2000), andere wurden mit multifrequenten Systemen durchgeführt (WEVER & BODECHTEL 1994, BAYER 1995, HAGG & STIES 1996). BARTSCH et al. 1999 waren in der Lage 13 verschiedene Landnutzungsklassen auf Grundlage der Kohärenzinformation aus ERS-Tandem-Daten zu unterscheiden. THIEL 2004 präsentierte ein Klassifikationsschema zur Unterscheidung von Landnutzungsklassen aus polarimetrischen Radardaten, das Genauigkeiten optischer Klassifikationen erreicht.

2 Datengrundlage und Datenintegration im GIS

Als optische Satellitenbilder standen drei panchromatische IRS-1D (03.04., 09.07. und 17.07.2002) sowie zwei Landsat 7 ETM (05.04. und 12.08.2002) Szenen zur Verfügung. Die Radardaten umfassten ERS-2

und ENVISAT A-SAR Bilder. Als digitales Geländemodell stand ein DGM des Thüringer Landesvermessungsamtes auf Grundlage der TK10 in einer Rasterauflösung von 25 m zur Verfügung. Ortholuftbilder lagen im Maßstab 1:12 500 für ausgewählte Landkreise im Norden Thüringens vor. Die Digitale Grundkarte Landwirtschaft mit den aus den Ortholuftbildern erfassten Grenzen der Landnutzung (Ackerland, Grünland, Wälder, Gewässer, Obst, Sonderflächen) lag nur als Rohvektorenkarte (digitale Feldblockkarte) vor, in die die Anbaudaten noch zugewiesen werden mussten.

3 Multitemporale Auswertung optischer Daten

Die optischen Datensätze von Landsat und IRS wurden zunächst standardisierten Vorverarbeitungsmethoden wie Atmosphärische Korrektur, Geokodierung und Topographischer Normalisierung unterzogen. Danach schloss sich die eigentliche Datenanalyse und -auswertung in Form der Trainingsgebietsauswahl, deren statistischer Spektralanalyse sowie der anschließenden überwachten Klassifikation der multitemporalen Aufnahmen an. Dabei wurde ein objektorientierter Ansatz mit einem eigens von HUGIN entwickelten Objektbildungsalgorithmus angewendet. Er beruht im Wesentlichen auf texturanalytischen Methoden und erzeugt Bildobjekte die innerhalb der Objektgrenzen sehr wenig Textur aufweisen und am Außenrand eine Kante (Farb- oder Helligkeitskontrast) besitzen. Der verwendete Algorithmus nutzt hoch auflösende panchromatische und multispektrale Bilddaten in einem Arbeitsgang. Ziel des Vorgehens ist, die geometrische Genauigkeit des panchromatischen Bildes mit der Information über Objektgrenzen zu kombinieren, die hauptsächlich an Farbkontrasten erkennbar werden und im panchromatischen Bild allein nicht detektierbar sind (KRAUSE et al. 2004).

Im Vorfeld der eigentlichen Klassifikation wurde zunächst ein wissenschaftlicher Klassenschlüssel erstellt, in dem die Kriterien zur Trennung landwirtschaftlicher Nutzflächen

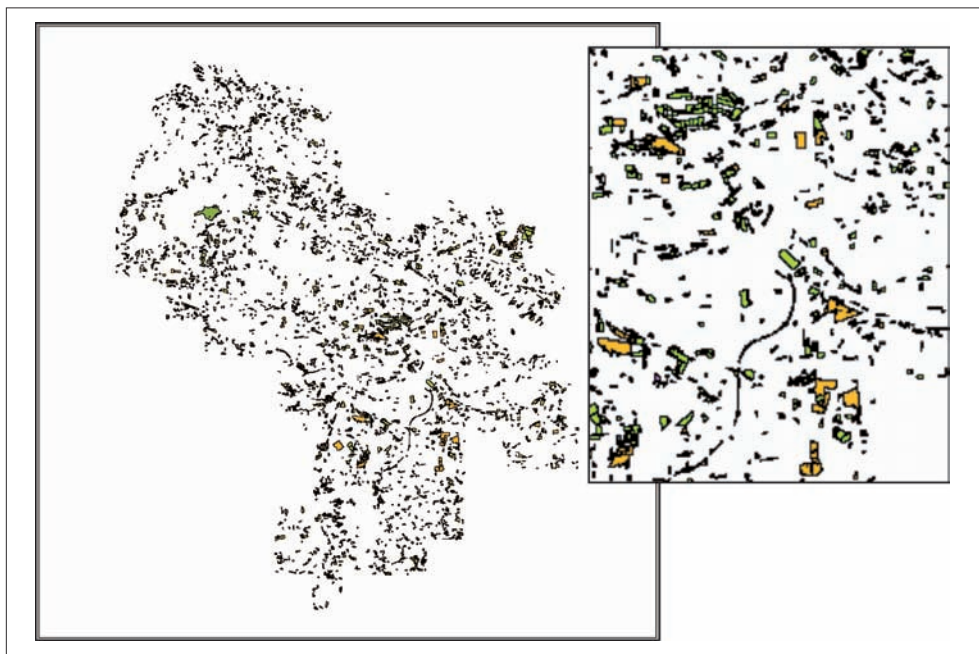


Abb. 1: Differenzen der optischen Bildanalyse zur »Digitalen Grundkarte Landwirtschaft«.

von anderen Landnutzungen (Größe, Form, Homogenität) formuliert wurden. Dabei ließen sich Ackerflächen sehr gut ableiten, allerdings ist die Zuordnung der angebauten Feldfrucht schwierig. Diese hängt wesentlich von der phänologischen Entwicklung (Anbau-, Wachstums- und Reifezeitpunkt) sowie der Farbe der reifen Frucht ab. Frisch umgebrochene Äcker sind leicht zu erkennen, frisch angesähte Frucht sieht dagegen überall gleich aus (KRAUSE et al. 2004).

Die Klassifikation wurde anhand von 1400 Referenzflächen durchgeführt, die 80 interne Klassen (mit Beschreibung der Klassenvariabilität) bildeten. Diese wurden als Ergebnis zu 21 semantischen Klassen zusammengefasst. Als weitere Ergebnisse wurden eine generalisierte Klassifikation, die der digitalen Feldblockkarte entspricht sowie eine Differenzkarte (Abb. 1) angefertigt.

Zum Abschluss der Auswertungen wurde eine Genauigkeitsbewertung durchgeführt. Dazu wurde eine Matrix mit 1000 Punkten

als Stichprobe ausgewählt, in der das Klassifikationsergebnis mit der DGK-Lw verglichen wurde. Ackerland und Holzung/Wald wurden zu 90 % richtig klassifiziert, lediglich die Grünlandklasse wurde deutlich schlechter klassifiziert (ca. 60%). Das liegt in erster Linie daran, dass in der DGK-Lw auch verbuschte- und Brachflächen in der Grünlandklasse vorgefunden werden.

4 Multitemporale Auswertung der Radardaten

Die Vorteile von Mikrowellendaten im Rahmen der Erfassung landwirtschaftlicher Nutzflächen sind nahe liegend:

- Kostenersparnis im Vergleich zu digitalen Orthophotos;
- sie liegen flächendeckend vor und sind komplett digital auswertbar;
- da sie unabhängig von Wetter- und Beleuchtungsbedingungen sind, können mehrere Aufzeichnungen während der Vegetationsperiode gemacht werden.

Während der ERS-2-Satellit C-Band Daten in VV-Polarisation aufzeichnet, ermöglicht der ENVISAT A-SAR Sensor die Kombination von 3 Polarisationen. Zur maximalen Informationsextraktion als Ergänzung zum ERS-Sensor wurde der alternierende Polarisationsmodus (HH und HV) gewählt. Dadurch waren für jeden Überflug theoretisch 3 Polarisationen verfügbar.

Informationszugewinn aus Fernerkundungsdaten basiert auf der Interaktion elektromagnetischer Strahlung mit Objekten an der Erdoberfläche. Besonders Feldfrüchte durchlaufen verschiedene phänologische Stadien (Aussaat, Aufgang, Blüte, Ernte) in denen sich die Pflanzenphysiologie verändert. Diese Stadien beeinflussen die Radarrückstreuung sehr stark. Man kann daher verschiedene Landnutzungsarten aufgrund ihrer multitemporalen Rückstreueigenschaften unterscheiden, was bei einem singulären Aufnahmezeitpunkt nicht immer möglich ist. Die Beobachtungsperiode dauerte daher von März bis Oktober 2003. Abb.2 zeigt den phänologischen Kalender mit den Überflugszeitpunkten der Radarsensoren ERS-2 und ENVISAT A-SAR.

Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche Landnutzungsklassifikation sind zuverlässige Geländevergleichsdaten. Hierzu lagen zum Einen GIS-Karten ausgesuchter Betriebe Nordthüringens vor (Thüringer Landesanstalt für Wald, Jagd und Fischerei) und zum Anderen wurden simultan zu den Satellitenüberflügen Geländekartierungen der Landnutzung durchgeführt und ebenfalls digital erfasst.

Auch die Radardaten wurden verschiedenen Vorverarbeitungsschritten unterzogen. Dazu gehörten im Einzelnen die Geokodierung anhand von etwa 300 Passpunkten sowie eine Speckle-Filterung mit einem 11 x 11 Gamma-Map-Filter. Zum Schluss wurde der Rückstreuoeffizient σ^0 berechnet, um Objekte die von verschiedenen Sensoren aufgezeichnet wurden verglichen zu können. So konnten multipolarimetrische Kompositen eines einzelnen Aufnahmeterrains oder multitemporale Kompositen einer einzelnen Polarisation zusammengestellt und visuell interpretiert werden.

Darüber hinaus wurden aber auch statistische Signaturanalysen der Rückstreuoeffizienten in den einzelnen Polarisatio-

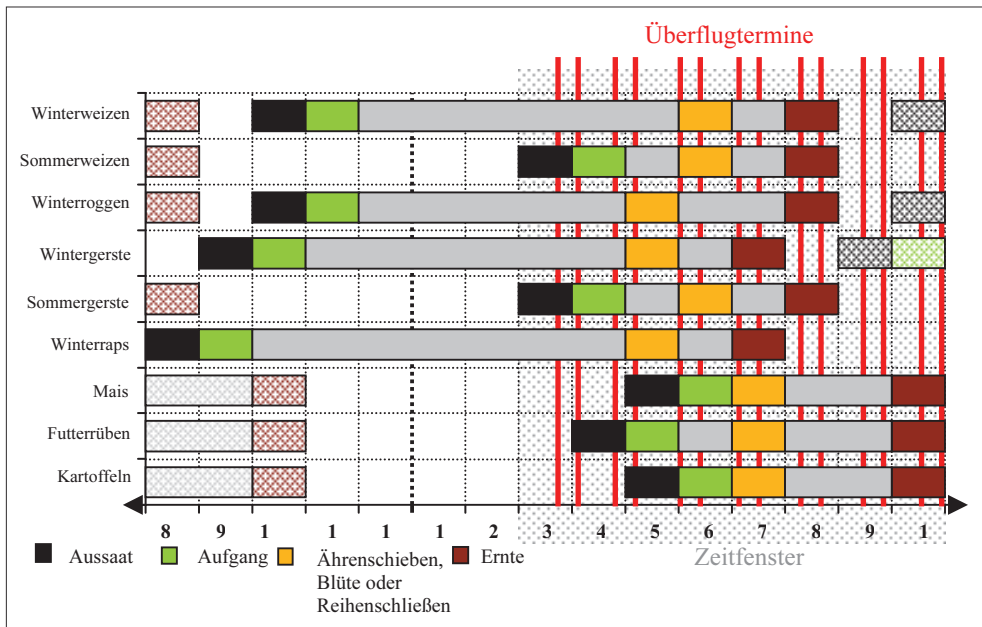


Abb. 2: Zeitfenster der Datenaufnahme und phänologische Stadien ausgewählter Fruchtarten.

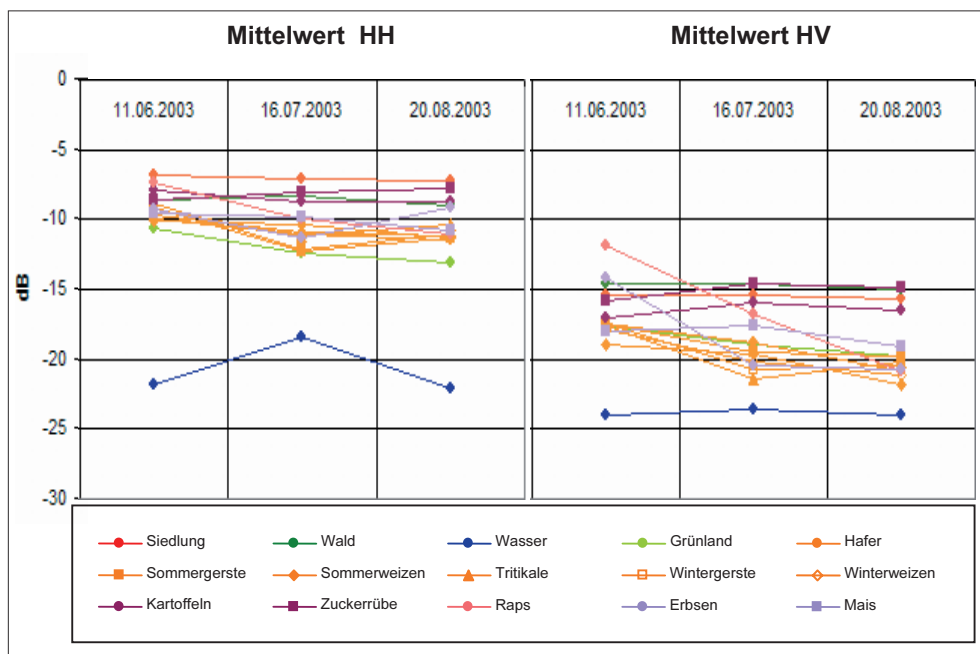


Abb. 3: Vergleich der Rückstreuung in der HH- (links) und der HV-Polarisation (rechts). Das unterschiedliche Verhalten der einzelnen Klassen in der HH-Polarisation ist deutlich zu erkennen. Siedlungen haben eine höhere Rückstreuung als Getreide, Grünland oder Wasser. In die Klassifikation wurde aber auch die phänologische Entwicklung beispielsweise des Raps (deutliche Abnahme der Rückstreuung in der Kreuzpolarisation HV) einbezogen.

nen durchgeführt, um erste Abschätzungen der Klassendifferenzierung formulieren zu können. Im Allgemeinen zeigen alle landnutzungsspezifischen Kurven ähnliche Verläufe (Abb. 3), allerdings ist die Rückstreuung in der Kreuzpolarisation (HV) höher und weist eine höhere Varianz auf (10 dB gegenüber nur etwa 6 dB in den beiden Co-Polarisationen HH und VV). Schließlich wurde anhand von 10 Bändern eine multitemporale und multisensorale Klassifikation durchgeführt, bei der die Klassen „Wasser“, „Grünland“, „Kartoffeln“, „Zuckerrüben“, „Raps“, „Erbsen“ und „Mais“ einfach getrennt werden konnten. Dies gilt nicht für die verschiedenen Getreidearten, deren Standardabweichungen der Rückstreuung sich stark überlappten und somit eine eindeutige Klassenzuweisung aufgrund der Radarrückstreusignatur nicht erlaubten.

Neben dem pixel-basierten Klassifikationsansatz wurde eine objektorientierte Klassifikation durchgeführt.

Das hat den Vorteil, dass die Mittelung der spektralen Eigenschaften auch die Variabilität der Klassencharakteristik reduziert. Darüber hinaus können kontext- und nachbarschaftsbasierte Kriterien in den Klassifikationsprozess integriert werden.

In einem ersten Schritt wurde die Segmentierung aller Radarbilder durchgeführt (Abb. 4). Dabei wurden die spektralen Eigenschaften (Grauwert-Homogenität) zu 90% und Formparameter (Beschreibung der äußeren Form der Segmente) zu 10% gewichtet. In einem zweiten Schritt wurden die Trainingsgebiete aufgrund der Geländekartierung ausgewählt und die Zugehörigkeitsfunktionen (Bsp.: Siedlung – Mittelwert VV 02.04.2003: –36 bis –34 dB) definiert. Darauf folgte im dritten Arbeits-

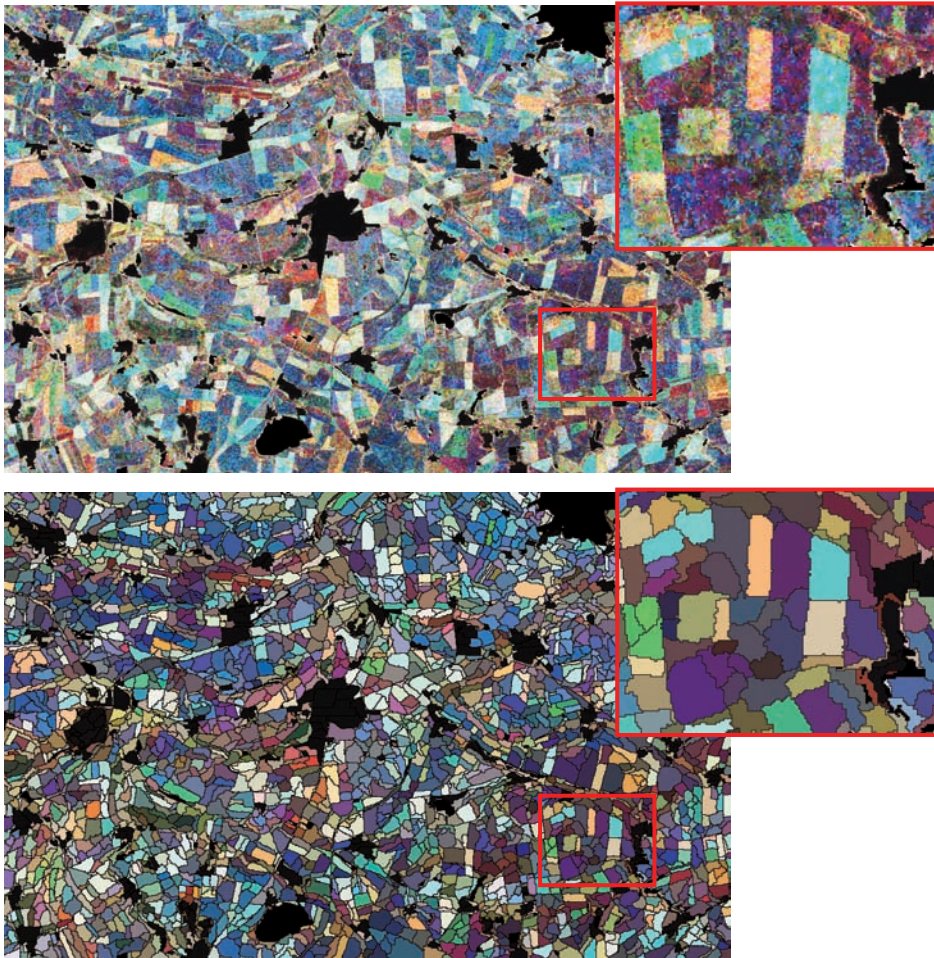


Abb. 4: Vergleich zwischen RGB-Komposite (oben) und objektorientiertem Segmentierungsergebnis (unten).

	Mikrowellen Klassifizierung					
DGK-Lw	Ackerland	Siedlung	Wasser	Grünland	Wald/ Kahlschläge	Summe
Ackerland	94,8	0,0	0,0	4,9	0,4	100,0
Grünland	42,9	0,0	0,0	57,1	0,0	100,0
Kahlschläge	0,0	0,0	0,0	15,4	84,6	100,0
Ungenutzt	35,7	38,1	4,8	7,1	14,3	100,0
Andere Flächen	71,4	0,0	0,0	28,6	0,0	100,0
Wald	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0

Abb. 5: Genauigkeitsbewertung durch Vergleich der Digitalen Grundkarte Landwirtschaft (DGK-Lw) mit dem Klassifikationsergebnis der Radardatenauswertung.

schritt die überwachte Klassifikation indem die Segmente den thematischen Klassen zugeordnet wurden. Dabei sind Algorithmen (z. B. Nearest Neighbour) für die eindeutige Zuordnung notwendig.

Zum Schluss wurde unter Verwendung der DGK-Lw analog zu den optischen Auswertungen eine Genauigkeitsbewertung durchgeführt. Da die Radardaten ein geringeres Gebiet abdeckten, wurden nur 400 Stichprobepunkte verwendet. Sehr gute Übereinstimmungen gab es bei den Klassen „Siedlung“, „Wasser“, „Ackerland“, „Holzung“ und „Wald“ (Abb. 5). Nur die „Grünland“-Klasse wies analog zu den optischen Daten die geringsten Klassifikationsgenauigkeiten auf. Die Gründe dafür liegen ebenfalls in der Einbeziehung der Verbuchungs- und Brachflächen sowie dem Vergleich mit der nicht aktuellen DGK-Lw. Insofern konnten Fehlklassifikationen auch Veränderungen enthalten. So konnten 54% der veränderten Gebiete bei einer Geländekontrolle tatsächlich als Landnutzungsänderung bestätigt werden.

5 Fazit

Die Veränderungsflächen wurden im Maßstab 1:25 000 kartiert und der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft zur Verfügung gestellt. Bisher wurden vergleichbare Inventuren nur etwa alle 4 Jahre mit Hilfe der Orthophotos durchgeführt. Jetzt besteht die Möglichkeit der jährlichen Aktualisierung, indem die Veränderungsflächen erfasst werden und damit die Vor-Ort-Kontrolle auf etwa 10% der bisherigen Belastung reduziert werden kann, die dafür notwendigen Kosten sich aber nicht vervierfachen, sondern lediglich das 1,5 bis 2-fache betragen.

Die Mikrowellenklassifikation konnte nicht alle Schlaggrenzen mit der geforderten Genauigkeit von weniger als 10 m erkennen. Dennoch sind signifikante Landnutzungsveränderungen deutlich sichtbar. Das im Vergleich zu den optischen Sensoren nur unwesentlich schlechtere Klassifikationsergebnis zeigt einen großen Vorteil der Radardaten: die aktuelle Verfügbarkeit der Radar-

sensoren ERS-2, ENVISAT und auch RADARSAT erlaubt eine kontinuierliche Datenaufzeichnung und eine regelmäßige Wiederholung der Inventarisierung. Damit können Landnutzungsstatistiken und Erntevorhersagen, gerade für kleinere räumliche Einheiten (beispielsweise Landkreise, etc.) zur Verfügung gestellt werden. Die bisher noch unzureichenden räumlichen Genauigkeitsanforderungen werden durch Mikrowellensysteme wie ALOS (vollpolarimetrisches L-Band-SAR, Start 2005) und TerraSAR-X (hoch auflösendes X-Band-SAR, Start 2006) in naher Zukunft gelöst werden können und damit einen weiteren Einsatz von Radardaten für landwirtschaftliche Inventarisierungen forcieren. Im Moment stellt die Kombination beider Aufnahmesysteme die beste Lösung dar: Kantenextraktion aus optischen Daten und Bestimmung der Landnutzungsart aus multitemporalen Radardaten.

Danksagung

Dank gebührt dem Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Naturschutz und Umwelt für die Förderung der vorgestellten Projektarbeiten sowie dem Kompetenzzentrum „Dynamik komplexer Geosysteme“ für die Koordination. Die ERS und ENVISAT-Satellitendaten wurden von der ESA im Rahmen des AO731 zur Verfügung gestellt.

Literatur

- BARTSCH, A., HOCHSCHILD, V. & FLÜGEL, W.A., 1999: Land cover change detection with the use of ERS-1/2 tandem data on the northern bound of the Thüringer Wald. – Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung, Band 8, Vorträge 18. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF 13.–15. 10. 1999, Essen.
- BAYER, T., 1995: Untersuchung des Informationsgehalts und rechnergestützte Klassifikation multifrequenter und multipolarimetrischer DC-8-SAR-Daten des Untersuchungsgebietes Gilching-Oberpfaffenhofen. – DLR-FB-95-14, Oberpfaffenhofen.
- FREEMAN, A., VILLASENOR, J., KLEIN, J.D., HOOGEBOOM, P. & GROOT, J. 1994: On the use of

- multi-frequency and polarimetric radar backscatter features for classification of agricultural crops. – *International Journal of Remote Sensing*, **15** (9): 1799–1812.
- GONZALES, G., 2001: Agriculture and Earth Observation. – EO-workshops, European Earth Observation research and applications on the environment, EUR 20433, Brussels.
- GOODING, R., DOKTER, K., KUPFER, G. & KÜHBAUCH, W., 1989: Eignung von SAR-Daten zur Gewinnung von Agrarinformation. – *GIS*, **2** (2): 23–28, Karlsruhe.
- HAGG, W. & STIES, M., 1996: Bundesweite Landnutzungskartierung mit ERS-1 SAR-Bilddaten. – Karlsruhe.
- HEROLD, M., HOCHSCHILD, V. & SCHMULLIUS, C., 2000: Multifrequente und multipolarimetrische Radarfernerkundung hydrologisch relevanter Parameter der Landoberfläche. – *Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation*, 2000 (5): 355–360, Stuttgart.
- KRAUSE, P., SELSAM, P., WEISE, C., CHMARA, S., SAGISCHEWSKI, H. & DONNARUMMA, F., 2004: Fernerkundungsbasierte Feststellung der Veränderungen der Grenzen der landwirtschaftlich genutzten Flächen, als Grundlage für die Aktualisierung der Digitalen Grundkarte Landwirtschaft (DGK-Lw). – Endbericht, Jena.
- LUDOWICY, C., SCHWAIBERGER, R. & LEITHOLD, P., 2002: Precision farming – Handbuch für die Praxis. – Frankfurt/Main.
- OWE, M., D'URSO, G., GOUWELEEUW, B.T. & JOCHUM, A.M., 2004: Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems and Hydrology VI. – *Proceedings of SPIE*, Volume 5568, Maspalomas.
- SCHMULLIUS, C., 1992: Radarfernerkundung landwirtschaftlicher Flächen mit einem flugzeuggetragenen L-, C- und X-Band Scatterometer. – *Berliner Geowissenschaftliche Abhandlungen*, Reihe D, Band 3, Berlin.
- SCHMULLIUS, C., NITHACK, J. & KERN, M., 1994: Comparison of multitemporal ERS-1 and airborne E-SAR image data for crop monitoring. – *Earth Observation Quarterly*, **43**: 9–12, Noordwijk.
- SCHMULLIUS, C. & NITHACK, J., 1996: Temporal multiparameter airborne DLR E-SAR images for crop monitoring. – Summary of the CLEOPATRA Campaign 1992.
- TACONET, O., BENALLEGUE, M., VIDAL-MADJAR, D., PREVOT, L., DECHAMBRE, M. & NORMAND, M., 1994: Estimation of Soil and Crop Parameters for Wheat from Airborne Radar Backscattering Data in C and X Band. – *Remote Sensing of Environment*, **50**: 287–294.
- THIEL, C. 2004: Polarimetrische Auswertung flugzeuggetragener E-SAR-Daten zur Bestimmung hydrologischer Modellparameter im Einzugsgebiet der Talsperre Zeulenroda (Thüringen). – Promotion Universität Jena.
- WEVER, T. & BODECHTEL, J., 1994: Simulation eines mehrfrequenten X-SAR/SIR-C Bildes aus Flugzeugdaten für die Erfassung der Landnutzung. – *ZPF* **62** (2): 72–75, Karlsruhe.

Anschriften der Autoren:

Prof. Dr. rer. nat. VOLKER HOCHSCHILD
Eberhard-Karls-Universität Tübingen, Geographisches Institut, Rümelinstr. 19–21, D-72074 Tübingen, Tel.: 07071-29 75316, Fax: 07071-29 5378
volker.hochschild@uni-tuebingen.de

Dipl.-Geogr. CHRISTIAN WEISE
Friedrich-Schiller-Universität Jena, Institut für Geographie, Lößdergraben 32, D-07743 Jena, Tel.: 03641-948 853, Fax: 03641-948 852
christian.weise@uni-jena.de

Dr. rer. nat. PETER SELSAM
HUGIN GmbH, Talstraße 84, D-07743 Jena, Tel.: 03641-351 811, Fax: 03641-351 825
hugin.gmbh@t-online.de

Manuskript eingereicht: Januar 2005
Angenommen: Februar 2005

Satellite based retrieval of cloud properties and their use in rainfall retrievals and fog detection

THOMAS NAUSS, JAN CERMAK, Marburg, ALEXANDER KOKHANOVSKY, Bremen,
CHRISTOPH REUDENBACH & JÖRG BENDIX, Marburg

Keywords: remote sensing, cloud properties, rainfall retrieval, fog detection

Summary: This article presents a satellite-based technique for the retrieval of cloud properties and two follow-up products. The very computer time efficient cloud property retrieval was evaluated against corresponding products of the Japanese and US space agencies (JAXA, NASA) showing good results. In addition, two examples for the use of the derived cloud parameters are shown: a highly accurate rainfall retrieval and a fog detection and clearance model.

Zusammenfassung: Satellitenbasierte Ableitung von Wolkenparametern und deren Verwendung in Niederschlagsretrievals und Nebel-Erkennungsverfahren. Der Artikel stellt eine Technik zur Ableitung von Wolkeneigenschaften aus Satellitendaten sowie zwei darauf aufbauende Produkte vor. Die Ergebnisse des rechenzeit-optimierten Algorithmus zeigen gute Übereinstimmungen mit den entsprechenden Produkten der japanischen und amerikanischen Weltraumbehörden (JAXA, NASA). Beispielhaft für diverse Anwendungsmöglichkeiten wird ein auf den abgeleiteten Wolkenparametern aufbauendes Niederschlagsretrieval sowie ein Modell zur Nebelerkennung und Nebelauflösung vorgestellt.

1 Introduction

Clouds play an important role in the earth-atmosphere radiation budget. Therefore many authors have developed satellite-based techniques for cloud property retrievals (e. g. ARKING 1985, NAKAJIMA & NAKAJIMA 1995). The cloud parameters themselves are of high interest for weather and climate research but they can also be used to compute further products like rainfall and fog maps or warning systems for icing in the field of general aviation (NAUSS et al. 2004). Therefore operational processing chains have been implemented at the Laboratory for Climatology and Remote Sensing (LCRS) in order to retrieve not only cloud properties but also the mentioned higher level products (cf. NAUSS & BENDIX 2005). This paper gives a short overview of

the techniques used. First, the retrieval of cloud properties – namely the cloud optical thickness and the effective droplet radius – using a semi-analytical approach is presented, followed by an overview of a rainfall retrieval for the latest Meteosat system (Meteosat-8 SEVIRI) and a fog detection scheme, both of which use the cloud parameters.

2 Retrieval of cloud properties

Daytime cloud parameter retrievals rely on the well-known characteristics of the reflection function of clouds in a non-absorbing (visible) and an absorbing (near-infrared) wavelength. This principle is illustrated in Fig. 1 for wavelengths of 0.65 μm and 1.6 μm . Continuous lines represent equal effective radii, dashed lines equal values of the

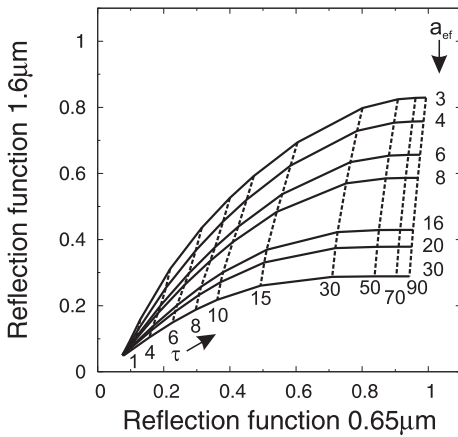


Fig. 1: Reflection function of a cloud at 0.65 μm vs. 1.6 μm as a function of optical thickness (dashed lines) and effective cloud droplet radius (solid lines) for a sun and satellite zenith angle of 0° .

optical thickness. Thus the reflection function at the non-absorbing wavelength is mainly a function of the cloud optical thickness τ and the absorbing wavelength signal is determined by the effective cloud droplet radius a_{ef} (an integrated value for the droplet size distribution function, cf. HANSEN & TRAVIS 1974).

Usually, pre-calculated reflectance values from radiative transfer simulations are iteratively lined up with actual measurements in the visible and near-infrared wavelengths in order to retrieve τ and a_{ef} (KAWAMOTO et al. 2001, PLATNICK 2000). Because these so-called look-up table (LUT) approaches are based on exact radiative transfer computations they are very accurate when compared to theoretical reflectance functions. On the other hand, the iteration is very expensive

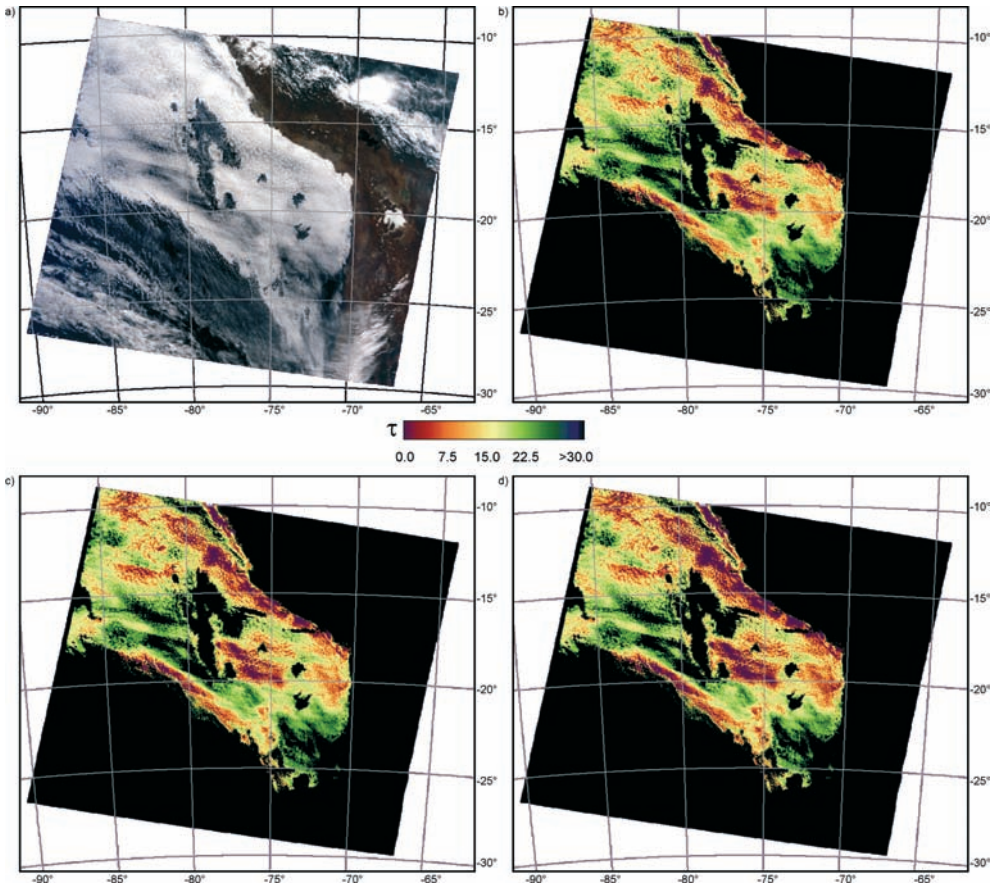


Fig. 2: Composite image (a) and optical thickness retrieved from MOD06 (b), ATSK3 (c) and SACURA (d) for Terra-MODIS scene from July 18th 2001, 15:30 UTC (NAUSS et al. 2005).

in terms of computer time. Therefore KOKHANOVSKY et al. (2003) developed the semi-analytical cloud property retrieval SACURA, which is based on the approximated versions of the asymptotic radiative transfer equations (SOBOLEV 1984) valid for clouds with $\tau > 5$. SACURA is much more time-efficient than the LUT techniques (about factor 25), which is of great importance for operational, near real-time retrievals.

The mathematical equation of SACURA for the reflection function in a non-absorbing band is based on approximations of VAN DE HULST (1980) and can be expressed by the reflection function of a semi-infinite cloud, the diffuse transmittance and the es-

cape function. Therefore the calculation of the reflection function of a finite cloud is reduced to that of a semi-infinite one, which only depends on the phase function, and even this dependence is rather weak. The reflection function of a semi-infinite cloud is calculated for a one-degree grid using the exact radiative transfer code of MISHCHENKO et al. (1999) for a modified gamma distribution and effective radius of $6 \mu\text{m}$ whereby the influence of a_{ef} is negligible (KOKHANOVSKY 2004a).

Besides its dependence on τ , the diffuse transmittance itself is a function of the asymmetry parameter and the escape function, which can be approximated with high

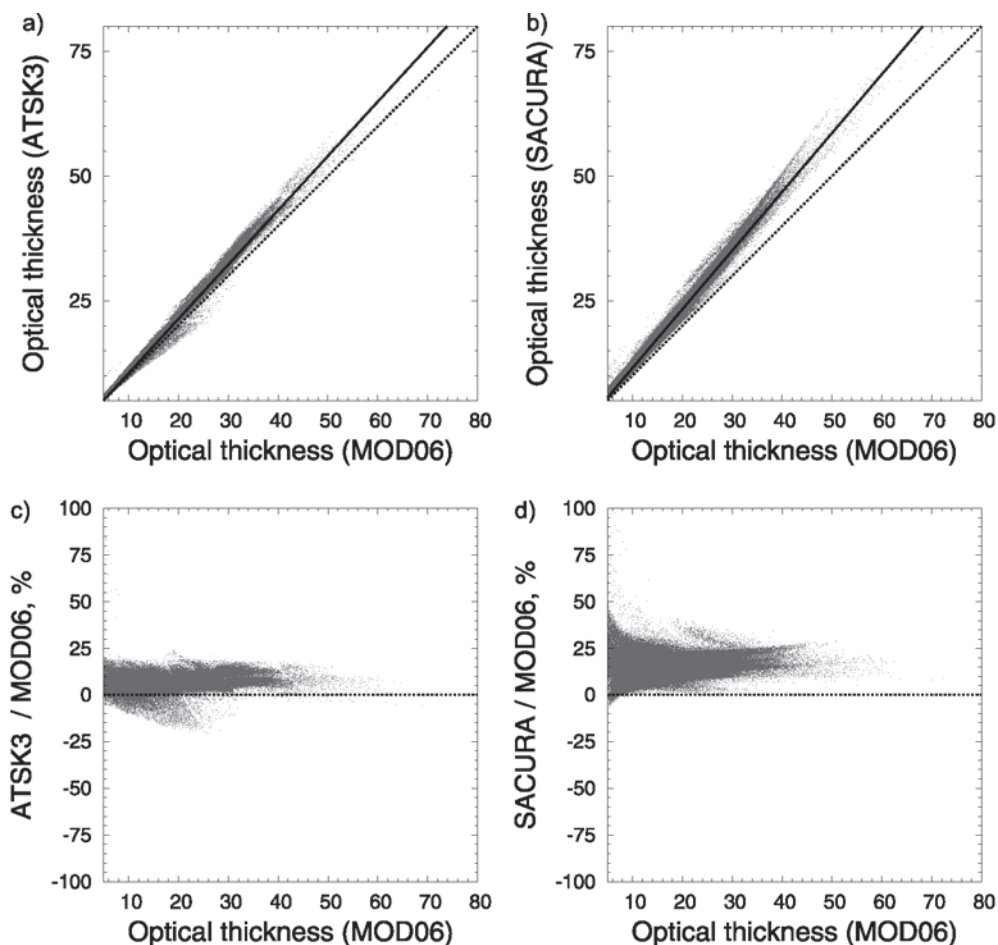


Fig. 3: Optical thickness retrieved by ATSK3 (a) and SACURA (b) vs. MOD06 and corresponding percentage difference (c, d) for Terra-MODIS scene from Fig. 2 (NAUSS et al. 2005).

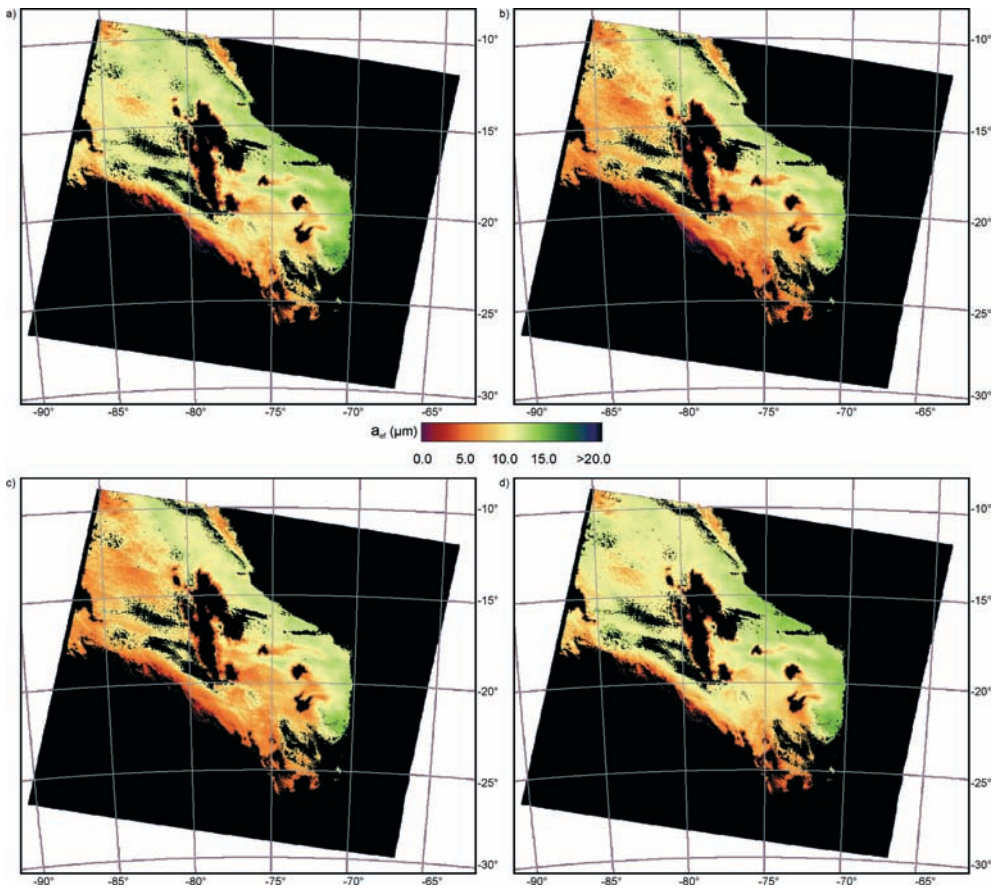


Fig. 4: Composite image (a) and effective cloud droplet radius retrieved from MOD06-37 (a), MOD06-16 (b), ATSK3 (c) and SACURA (d) for Terra-MODIS scene from Fig. 2 (NAUSS et al. 2005).

accuracy (KOKHANOVSKY 2004b). The latter takes into account the probability that under a given viewing geometry a photon is scattered in the direction of the sensor.

In the near infrared range the reflection function of an absorbing cloud can be found from the solution of integral equations (NAKAJIMA & KING, 1992). For SACURA, several exponential solutions (ZEGE et al. 1991, KOKHANOVSKY et al. 2003) are used, which are valid if the probability of photon absorption is small. This is usually the case for water clouds in the visible and near-infrared spectrum (KOKHANOVSKY 2004a).

Since the reflection function of a cloud in the visible band is not only a function of τ

but also of a_{ef} , which enters the equations by its influence on the asymmetry parameter, the optical thickness cannot be retrieved by measurements in the non-absorbing band alone. On the other hand, the reflection function in the near-infrared band depends on the liquid water path, which itself can be expressed as a function of τ , a_{ef} and the diffuse transmission (the latter taken from the reflection function in the visible channel). The substitution of the liquid water path by these parameters yields a single equation for the retrieval of the cloud properties and can easily be solved numerically. For details on SACURA, cf. KOKHANOVSKY et al. (2003).

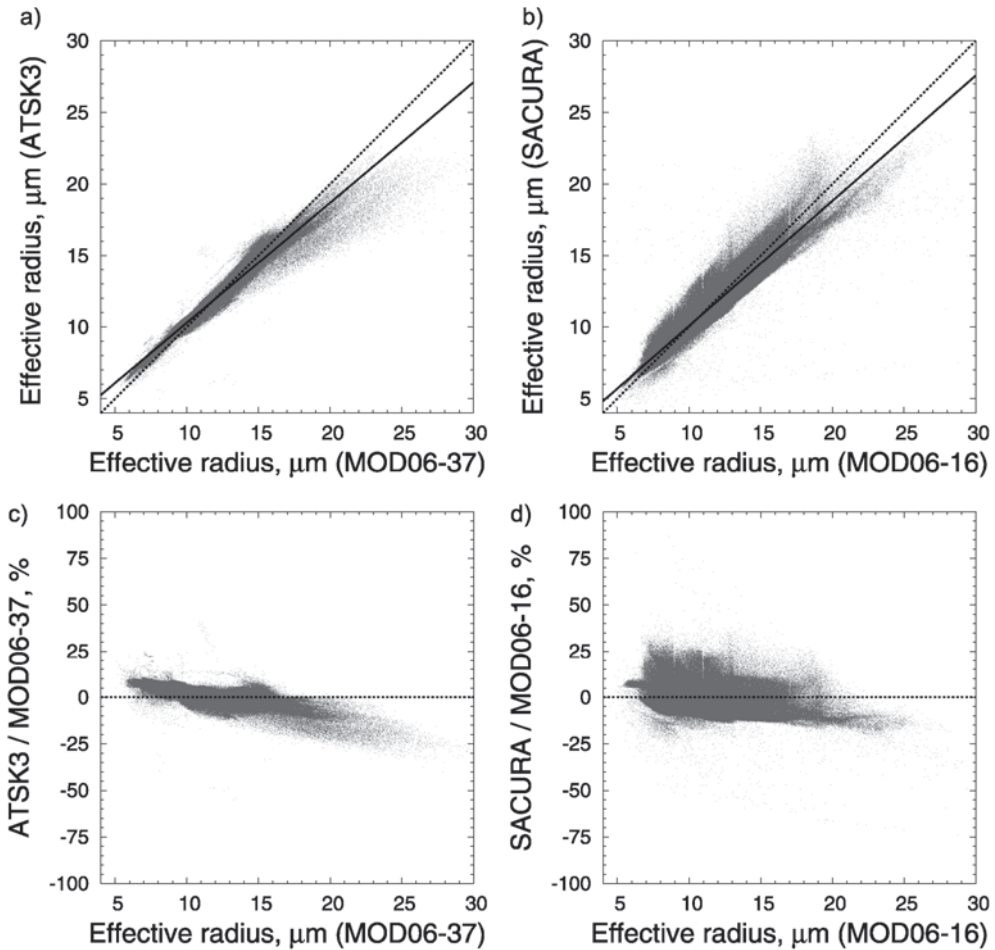


Fig. 5: Effective cloud droplet radius retrieved by ATSK3 (a) and SACURA (b) vs. MOD06-37 and MOD06-16 respectively and corresponding percentage difference (c, d) for Terra-MODIS scene from Fig. 2 (Nauss et al. 2005).

SACURA has been evaluated against the ATSK-3 retrieval by the Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA, Kawamoto et al. 2001) and the MODIS cloud property product MOD06 (Platnick et al. 2003) of the US National Aeronautics and Space Administration (NASA). All three retrievals show good correlations over oceans as well as over land with a squared correlation coefficient (r^2) larger than 0.94 for τ and larger than 0.79 for a_{ef} (see Kokhanovsky et al. 2005, Nauss et al. 2005). An example is shown in Fig. 2 for a scene of the Terra-MODIS polar orbiting system on 18 July

2001, 15:30 UTC over the eastern Pacific and the western part of south America. As can be seen in Fig. 3 the correlation between the optical thickness retrieved by MOD06, ATSK-3 and SACURA respectively fit very well, with an r^2 of 0.99 in all cases. Both, ATSK-3 and SACURA tend to retrieve larger values of τ as compared to MOD06. Fig. 4 shows the retrieved effective radius. Since ATSK-3 uses near-infrared data at $3.7\mu\text{m}$ while SACURA uses the $1.6\mu\text{m}$ channel, the retrievals are compared to different versions of the MOD06 product using the appropriate channels in each case

(MOD06-16 and MOD06-37). The corresponding plots are shown in Fig. 5. Again, there is a quite good correlation with an r^2 of 0.99 (ATSK-3) and 0.94 (SACURA) respectively.

3 Rainfall Retrieval based on cloud properties

The straightforward approaches of satellite-based rainfall retrievals normally identify convective precipitating clouds by means of their infrared brightness temperature. This usually works well in the tropics but cannot simply be applied to the complex situation of mid-latitude frontal precipitation. Hence, a new technique has been developed for Meteosat-8 SEVIRI, which is also applicable to advective/stratiform precipitation in the mid-latitudes. It consists of two modules. The first deals with precipitation from convective core areas, the second with that of advective/stratiform precipitating clouds.

The convective module is based on the Enhanced Convective Stratiform Technique (ECST, REUDENBACH 2003) that uses positive temperature differences between the water vapour and infrared channels (d_{WI}) in order to discriminate between deep convective, optically thick clouds ($d_{WI} > 0$) and non-raining cirrus ($d_{WI} < 0$, cf. TJEMKES et al. 1997). Pixels with positive d_{WI} are then subdivided by analysing the frequency distribution of the infrared brightness temperatures (TB_{IR}). Areas with $TB_{IR} < 1^{\text{st}}$ quartile of the frequency distribution represent overshooting tops of convective cores, those in the 1^{st} quartile reveal raining systems at tropopause level and pixels with $TB_{IR} < 3^{\text{rd}}$ quartile identify potentially raining cloud systems of great vertical extension. As a result, isolated convective cores can be distinguished from directly adjacent stratiform raining areas.

The advective/stratiform module is based on the concept that potentially raining cloud

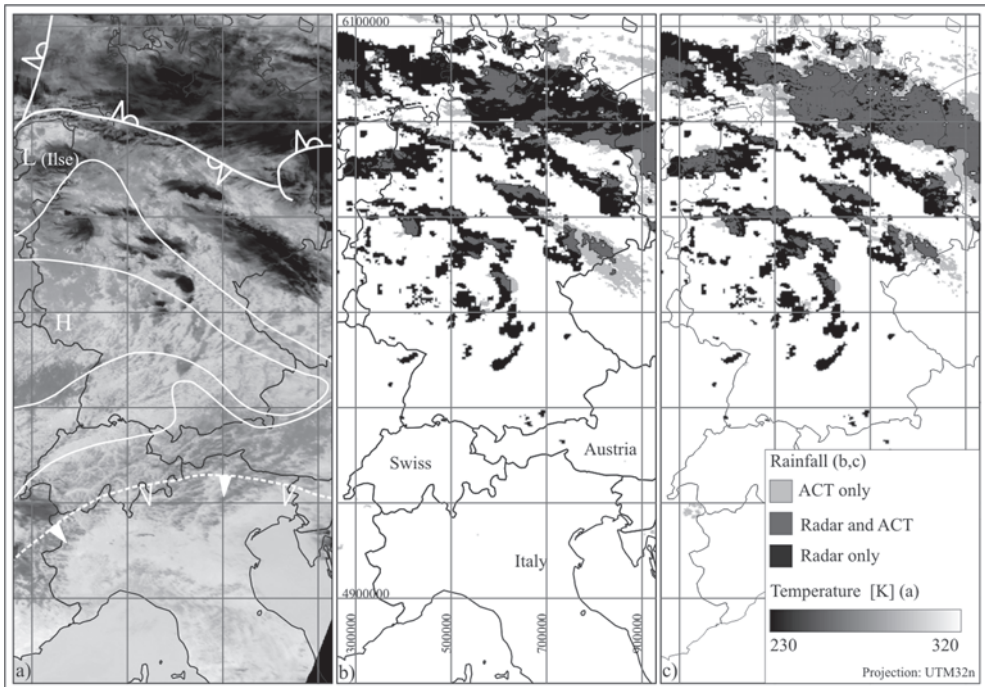


Fig. 6: Terra-MODIS data during the Elbe flood for August 5th 2002, 11:05 UTC, showing (a) infrared data overlaid by the synoptic situation, (b) the results of the ACT convective module merged with data from the C-band radar network of the German weather service and (c) the same merge but with the additionally activated ACT cloud property module.

systems require both a certain size of droplets that can fall out of the cloud against the updraft wind field and a minimum cloud thickness that allows droplets to grow large enough and prevents them from evaporating below the cloud base (see also LENSKY et al. 2003). Therefore, 225 satellite scenes have been analysed together with data from the ground based radar network of the German weather service (DWD) to find a discrimination function that delineates raining from non-raining areas, using a variable threshold value of a_{ej} as a function of τ . The potential benefit of this identification scheme is shown in Fig. 6 for a scene during the severe flood events on August 5th 2002, 11:05 UTC. It shows the complex situation with low pressure system *Hanne* centred over the north-western Netherlands causing extensive stratiform cloud areas along the occlusion in the north/north-eastern part of the scene and shallow convection over the alps indicating a dissolving cold front. Between these frontal regions intensive convection due to a high pressure ridge extending from France to central Germany can be clearly identified in the Terra-MODIS infrared image (Fig. 6a). Fig. 6b presents an overlay of radar network data (C-band) of the German Weather Service and the retrieval results using only the convective module of the rainfall retrieval. Both, the shallow convection along the cold front over the Alps/south-western Germany and the convective systems over France and the German mountain foreland are identified correctly as non-raining and rainfall is assigned to the cloud clusters along the border of the high pressure ridge. Nevertheless, only areas close to the tropopause in the northern stratiform band where identified as raining. In Fig. 6c, the advective/stratiform scheme was additionally used for the retrieval. The identified raining area now covers almost the entire northern cloud band and the isolated systems in the centre are also well detected.

4 Fog detection based on cloud properties

Microphysical parameters play a crucial role in the operational fog detection and dissipation schemes used at the LCRS. In the former, cloud optical depth and droplet effective radius are used in a plausibility test. The latter scheme makes use of liquid water path and of cloud geometrical thickness derived from cloud optical depth.

The fog detection technique consists of a series of individual tests comprising both, pixel-based and object-oriented components. A summary of the entire scheme is given in Fig. 7 and described in detail in CERMAK & BENDIX (forthcoming). As can be seen here, fog is treated as a residual category after the explicit exclusion of other classes. In a first step, all non-cloud pixels

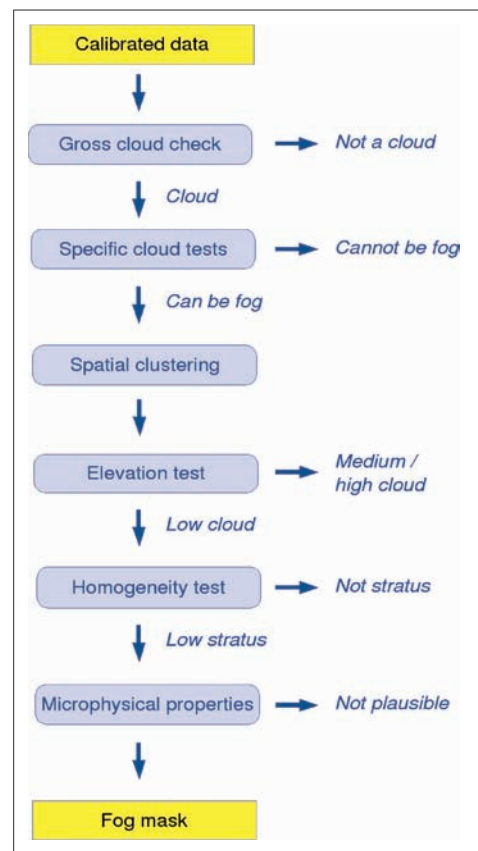


Fig. 7: Overview of the fog detection scheme.

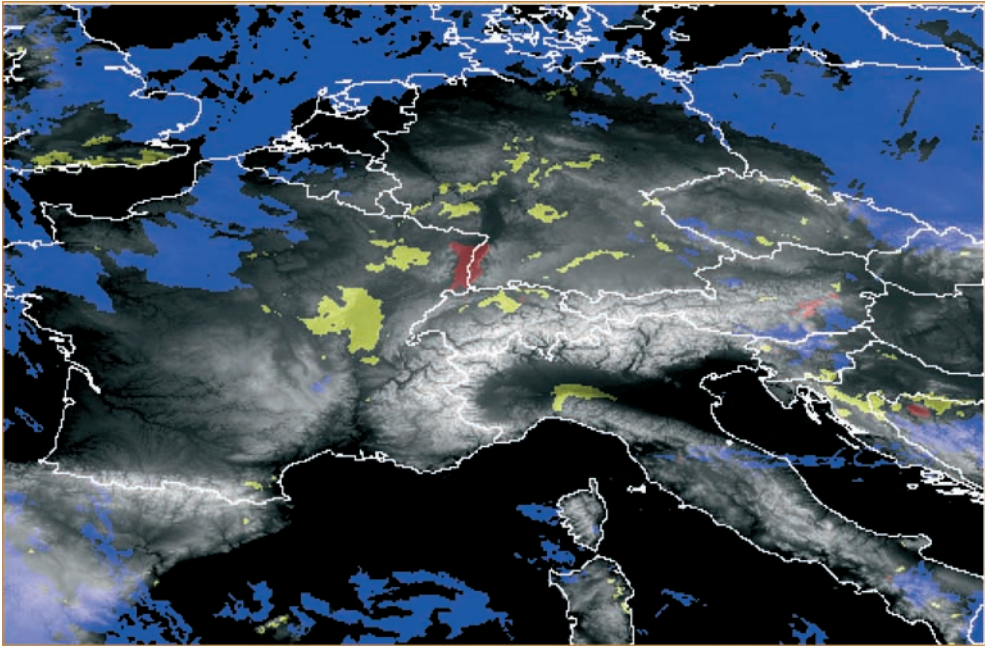


Fig. 8: Meteosat-8 SEVIRI fog map for November 5th 2003, 09:00 UTC. Yellow and red areas are fog, blue areas other water clouds.

are rejected by means of a gross cloud check. This test makes use of the radiances received at the sensor at 10.8 and 3.9 μm . Due to the solar signal in the latter channel the radiance difference of the two channels ($R_{10.8} - R_{3.9}$) is smaller for cloud-contaminated than for clear pixels. Any pixels identified as cloud-covered then undergo tests to exclude a number of non-fog clouds and snow. These tests are based on a number of spectral channels. After this step all remaining cloud areas potentially qualify as fog. These regions are then clustered into spatially discrete and coherent entities for further testing. Each entity is assessed in terms of elevation and surface homogeneity. Where either criterion is outside a predefined range the cloud entity is flagged as non-fog.

Finally, a microphysics-based plausibility test eliminates any pixels with droplet radii or cloud optical depths beyond the range observed in fog. Standard values for both parameters were retrieved from the literature (e. g. TAMPIERI & TOMASI 1976, PINNICK et al. 1978). According to these sources, fog optical depth normally ranges between 0.15

and 30 while droplet effective radius varies between 3 and 12 μm , with a maximum of 20 μm in coastal fog. These values are tested against those retrieved operationally in the scheme presented above. The microphysics component is of particular importance in the scheme because it helps ensure the physical plausibility of the fog mask product. A sample of the finished fog mask product for November 5th 2003, 09:00 UTC, can be seen in Fig. 8.

Once a fog mask has been derived, a thermo-dynamical model is run to compute the fog dissipation time for each fog-covered pixel. This scheme again makes use of microphysical parameters: As input the fog dissipation model uses the 0.6 and 10.8 μm channels, the fog mask product, radiosounding data, a digital elevation model, cloud optical thickness, droplet effective radius, liquid water path and cloud geometrical thickness.

The assumption of the model is that fog clearance happens where the temperature at time t (T_t) reaches a required fog clearance temperature (T_c):

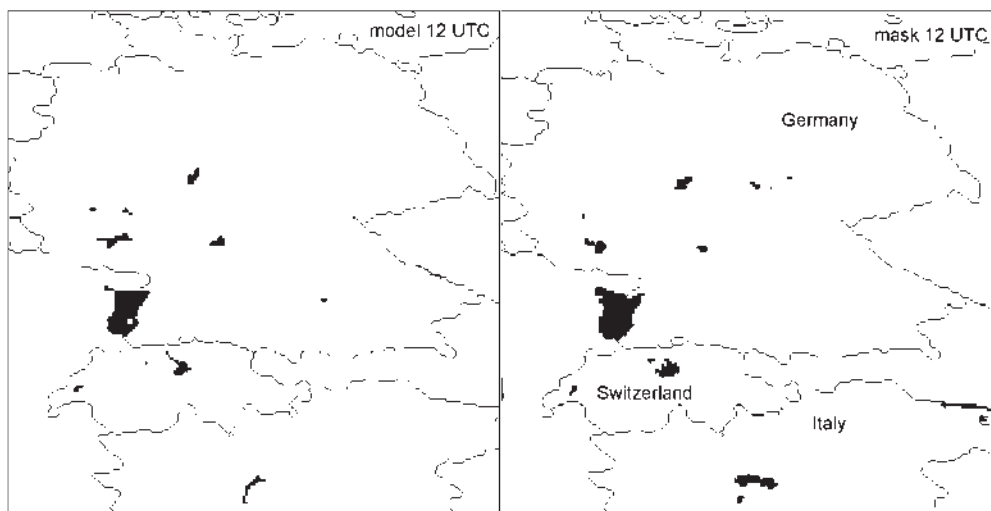


Fig. 9: Fog clearance model result for November 5th 2003, 12 UTC based on the fog map of Fig. 7 (left) and actual fog map for 12:00 UTC (right).

$$T_i(d_z, R_{0.6}, R_{10.8}, \Theta) = T_c(d_z, LWP, r_w, \Gamma) \quad (1)$$

T_i is computed as a function of cloud geometrical thickness (d_z), the radiances at 0.6 ($R_{0.6}$) and 10.8 μm ($R_{10.8}$), and the solar zenith angle (Θ). Geometrical thickness is computed using an empirical parameterization based on cloud optical depth. T_c (fog clearance time) is defined as the time when all fog droplets within a pixel evaporate. It depends on cloud thickness, liquid water path, saturation humidity mixing ratio (r_w), and the atmospheric temperature lapse rate (Γ). The cloud liquid water path is computed from droplet effective radius and cloud optical depth using the relationship shown in equation (8).

A more detailed description of the fog dissipation model can be found in REUDENBACH & BENDIX (1998). The operational availability of microphysical information computed in the above scheme allows for this model to run continuously. A sample model result can be seen in Fig. 9. This mask is based on a fog mask product of November 5th 2003, 9:00 UTC. The left hand side of the figure shows the model output for 12 UTC, the corresponding mask can be seen

on the right. Both images show good agreement of fog areas indicating.

Acknowledgements

This work was supported by the German Federal Ministry for Education and Research (BMBF) in the scope of the GLOWA-Danube project 07 GWK 04 “Rainfall Retrieval” and by the DFG (projects BU 688/8-1 and 1780/8-3).

References

- ARKING, A. & CHILDS, J.D., 1985: Retrieval of cloud cover parameters from multispectral satellite images. – *Journal of Applied Meteorology* **24**: 322–333.
- CERMAK, J. & BENDIX, J., (forthcoming): A Day-time Scheme for the Automated Detection of Fog and Low Stratus Using MSG SEVIRI Data. – Submitted to *Journal of Geophysical Research*.
- HANSEN, J.E. & TRAVIS, L.D., 1974: Light scattering in planetary atmospheres. – *Space Science Reviews* **16**: 527–610.
- KAWAMOTO, K., NAKAJIMA, T. & NAKAJIMA, T.Y., 2: A Global Determination of Cloud Microphysics with AVHRR Remote Sensing. – *J. Climate* **14**: 2054–2068.

- KOKHANOVSKY, A. A., 2004a: Reflection of light from non absorbing semi-infinite cloudy media: a simple approximation. – *Journal of Quantitative Spectroscopy and radiative Transfer* **85**: 25–33.
- KOKHANOVSKY, A. A., 2004b: *Light Scattering Media Optics*. – rd ed., Springer Verlag, Berlin.
- KOKHANOVSKY, A. A., ROZANOV, V. V. ZEGE, E. P., BOVENSMANN, H. & BURROWS, J. P., 2003: A semi analytical cloud retrieval algorithm using backscattered radiation in 0.4–2.4 μm spectral region. – *Journal of Geophysical Research* **108**: 4-1–4-19.
- KOKHANOVSKY, A. A., ROZANOV, V. V., NAUSS, T., REUDENBACH, C., DANIEL, J. S., MILLER, H. L. & BURROWS, J. P., 2005: The semi analytical cloud retrieval algorithm for SCIAMACHY. I. The validation. – *Atmospheric Chemistry and Physics*; accepted for publication.
- LENSKY, I. M. & ROSENFELD, D., 2003: Satellite-based insights into precipitation formation processes in continental and maritime convective clouds at nighttime. – *Journal of Applied Meteorology* **42**: 1227–1233.
- MISHCHENKO, M. I., DŁUGACH, J. M., YANOVITSKIJ, E. G. & ZAKHAROVA, N. T., 1999: Bidirectional reflectance of flat, optically thick particulate layers: An efficient radiative transfer solution and applications to snow and soil surfaces. – *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer* **63**: 409–432.
- NAKAJIMA, T. & KING, M. D., 1992: Asymptotic theory for optically thick layers: Application to the discrete ordinates method. – *Applied Optics* **31**: 7669–7683.
- NAKAJIMA, T. Y. & NAKAJIMA, T., 1995: Wide-area determination of cloud microphysical properties from NOAA AVHRR measurements for FIRE and ASTEX regions. – *J. Atmos. Sci.* **52**: 4043–4059.
- NAUSS, T. & BENDIX, J., 2005: An operational MODIS processing scheme (MOPS) for PC. – *Computers and Geoscience*, accepted for publication.
- NAUSS, T., KOKHANOVSKY, A. A., NAKAJIMA, T. Y., REUDENBACH, C. & BENDIX, J., 2005: The inter-comparison of selected cloud retrieval algorithms. – *Atmos. Res.*, accepted for publication.
- NAUSS, T., REUDENBACH, C., CERMAK, J. & BENDIX, J., 2004: Operational identification and visualisation of cloud processes for general aviation using multispectral data. – *Proceedings of the 2004 Eumetsat Meteorological Satellite Conference*.
- PINNICK, R. G., HOIJELLE, D. L., FERNANDEZ, G., STENMARK, R. B., LINDBERG, J. D., HOIDALE, N. T. & JENNINGS, S. G., : Vertical structure in atmospheric fog and haze and its effect on visibility and infrared extinction. – *Journal of Atmospheric Sciences* **35**: 2020–2032.
- PLATNICK, S., 2000: Vertical photon transport in cloud remote sensing problems. – *Journal of Geophysical Research* **105**: 22919–22935.
- PLATNICK, S., KING, M. D., ACKERMAN, S. A., MENZEL, W. P., BAUM, B. A., RIÉDI, J. C. & FREY, R. A., 2003: The MODIS cloud products: Algorithms and examples from Terra. – *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* **41**: 459–473.
- REUDENBACH, C., 2003: Convective summer precipitation in Central Europe. – *Bonner Geogr. Abh.* **109**, 152 pp., Sankt Augustin. [German]
- REUDENBACH, C. & BENDIX, J. : Experiments with a straightforward model for the spatial forecast of fog/low stratus clearance based on multi-source data. – *Meteorological Applications* **5**: 205–216.
- SOBOLEV, V. V., 1984: Integral relations and asymptotic expressions in the theory of radiative transfer. – *Astrofizika* **20**: 123–132.
- TAMPIERI, F. & TOMASI, C., 1976: Size distribution of fog and cloud droplets in terms of the modified gamma function. – *Tellus* **28**: 333–347.
- TJEMKES, S. A., VAN DE BERG, L. & SCHMETZ, J.: Warm water vapour pixels over high clouds as observed by Meteosat. – *Beiträge zur Physik der Atmosphäre* **70**: 15–21.
- VAN DE HULST, H. C., 1980: *Multiple light scattering: Tables, formulas and applications*. – Academic Press, New York.

Anschriften der Autoren:

Dipl.-Geogr. THOMAS NAUSS, JAN CERMAK MA,
Dr. CHRISTOPH REUDENBACH & Prof. Dr. JÖRG
BENDIX, Marburg
Laboratory for Climatology and Remote Sensing,
University of Marburg
Deutschhausstr. 10, D-35032 Marburg
e-mail: nauss@lcrs.de

Dr. ALEXANDER KOKHANOVSKY, Bremen,
Institute of environmental Physics, Bremen University,
Otto-Hahn-Allee 1, D-28334 Bremen

Manuskript eingereicht: Januar 2005
Angenommen: Februar 2005

Eine Fallstudie zum Einsatz abbildender Spektroskopie in der Grünlandkartierung

SEBASTIAN SCHMIDTLEIN, Bayreuth, SABINE GRABNER & JULIA SASSIN, Innsbruck

Keywords: hyperspectral, vegetation mapping, floristic gradients, DCA, PLS

Zusammenfassung: Die Fernerkundung kann bei der Kartierung von Mustern in der Artenzusammensetzung von Vegetation gute Dienste leisten; Voraussetzung ist allerdings, dass Vegetationsanalyse und bildgebende Verfahren aufeinander abgestimmt sind. Im vorgestellten Beispiel aus Oberbayern wurden zwei nicht-klassifizierende Ansätze miteinander kombiniert, nämlich die Detrended Correspondence Analysis (DCA) aus der Vegetationskunde und die Partial Least Squares (PLS) Regression aus der Spektroskopie. Das Ergebnis ist eine Karte der Bestandesmuster von Streuwiesen, die einen guten Eindruck von den tatsächlichen graduellen Unterschieden in der Zusammensetzung der Vegetationsdecke vermittelt.

Summary: *A case study of imaging spectroscopy as a tool for mapping grassland vegetation.* Remote sensing can be a useful tool for the investigation of patterns in plant species composition. However, a necessary pre-requisite is the matching of methods in field data analysis and image processing. The present study combines two non-classifying approaches: detrended correspondence analysis (DCA) from vegetation science and partial least squares (PLS) regression from spectroscopy. The result is a map of stand patterns in hay meadows that provides a good impression of the real gradual transitions in plant species composition.

Einleitung

Muster von Pflanzengesellschaften sind mit Fernerkundungsmethoden erfassbar, weil sie mit Unterschieden in den biochemischen und biophysikalischen Eigenschaften der Vegetationsdecke einhergehen. Die Übergänge zwischen den Pflanzengesellschaften sind allerdings oft mehr oder weniger allmählich, und manchmal hat man es eher mit einem System von Gradienten in der Artenzusammensetzung zu tun als mit einem Mosaik diskreter Einheiten. Wie scharf die Grenzen zwischen Pflanzengesellschaften sind, hängt vom Betrachtungsmaßstab ab, von den Standortmustern und von der Selbstorganisation in der Vegetation.

Vegetationskundler vereinfachen ihren Gegenstand meist sehr, wenn sie eine Typenzuweisung von Beständen zu Pflanzengesellschaften vornehmen oder wenn sie Pflanzengesellschaften im Raum diskret voneinander

abgrenzen. Je mehr dabei auf gegebener Skalenebene von den tatsächlichen Verhältnissen abgesehen wird, desto schwieriger wird es, solche Einteilungen mit Hilfe der Fernerkundung nachzuvollziehen. Das gilt besonders, wenn die Kriterien der Vereinfachung nicht zwangsläufig etwas mit Reflexionsbestimmenden Merkmalen der Vegetation zu tun haben; in der Pflanzensoziologie werden zum Beispiel „diagnostische“ Pflanzenarten, die zum Teil nur geringen Anteil am Bestandaufbau haben, zur Typenzuordnung herangezogen. Es muss also nicht unbedingt zum Ziel führen, wenn der Erfassung der Vegetation mittels Fernerkundung eine pflanzensoziologische Vorklassifizierung zugrunde gelegt wird.

Nicht-klassifizierende Kennwerte der Vegetationszusammensetzung haben zwei Vorteile: a) Es gehen keine vorgefassten Typen ein und b) die metrisch skalierten Werte können dem teils kontinuierlichen, teils diskon-

tinuierlichen räumlichen Wechsel in der Zusammensetzung der Pflanzendecke gerecht werden.

Im Folgenden wird eine Studie geschildert, in denen Ordinationswerte für eine Kartierung von Pflanzengesellschaften verwendet wurden. Ordinationen bündeln die Information über die Artenzusammensetzung in wenigen Achsenwerten (JONGMAN et al. 1995, LEPŠ & ŠMILAUER 2003). Ihr Einsatz fand in der Fernerkundung bislang wenig Beachtung, und dann nur als Zwischenprodukt und nicht als eigenständiges Werkzeug zur flächenhaften Darstellung von Vegetationsunterschieden (VAN DE VEN & WEISS 2001, OHMAN & GREGORY 2002, ARMITAGE et al. 2004). Das Ziel war, eine Vegetationskarte zu erstellen, die ohne künstliche, diskrete Grenzen auskommt. Dafür wurden die Achsenwerte mit Hilfe eines Regressionsverfahrens in Bezug zur Reflexion gesetzt und in die Fläche übertragen (SCHMIDTLEIN & SASSIN 2004).

Material und Methoden

Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet liegt im Machtfinger Drumlinfeld bei Andechs (Voralpenland). Die pleistozänen Vergletscherungen hinterließen hier eine Moränenlandschaft mit einem Mosaik aus kalkreichen und lehmigen Substraten unterschiedlicher Feuchte. Die Analysen beschränken sich auf mehrere Streuwiesen, welche traditionell zur Gewinnung von Stalleinstreu gemäht wurden

und heute für Naturschutzzwecke gepflegt werden. Der räumliche Wechsel der Artenzusammensetzung, um dessen Aufnahme es hier ging, vollzieht sich entlang allmählicher Gradienten und ist daher mit konventionellen Methoden kaum zu kartieren.

Bilddaten

Das Bildmaterial wurde mit dem flugzeuggetragenen hyperspektralen Sensor AVIS-2 (OPPELT & MAUSER 2004) der Ludwig-Maximilians-Universität München (Sektion Geographie, Ground Truthing Centre Oberbayern, GTCO) gewonnen. Die Sensor- und Flugparameter sind in Tab. 1 zusammengestellt. Die Vorprozessierung umfasste Flatfield- und Dunkelstrom-Korrektur sowie eine Umrechnung auf 64 spektrale Bänder. Eine Atmosphärenkorrektur war für die Studie im Grunde verzichtbar, erfolgte jedoch im Zuge der am GTCO üblichen Vorprozessierung. Sie fußt auf dem Strahlungstransfer-Modell RSTAR5 (NAKAJIMA & TANAKA 1988), die geometrische Korrektur auf Daten aus digitalen Höhenmodellen sowie auf Messungen an Bord (dGPS und Inertial Measuring Unit, IMU). Die endgültige Referenzierung erfolgte anhand von Orthophotos des Bayerischen Landesvermessungsamtes. Das Bildrauschen wurde im Zuge einer inversen MNF- (Minimum Noise Fraction-) Rotation (BOARDMAN & KRUSE 1994) verringert. Die Reduzierung erfolgte durch Verzicht auf alle MNF-Bänder ohne kohärente räumliche Information. Für alle nachfolgenden Berechnungen wurden

Tab. 1: Sensor- und Flugparameter

Sensor	AVIS-2, Universität München, Sektion Geographie
Betreiber	Ground Truthing Centre Oberbayern, München
Flugzeit (UTC)	4. Juli 2001, 10:00
Bearing, Sonnen-Azimuth, -Höhe	95°, 120°, 53°
Flughöhe über Grund	um 870 m
Fluggeschwindigkeit	45 m sec ⁻¹
Spektralbereich	400–874 nm
Radiometrischer Modus	16 bit
Spektrale Auflösung	FWHM
Spektrale Samples	64 in Intervallen von 7.4 nm
Field of View (FOV)	56°
Bildpixel pro Scanreihe	640
Instantaneous Field of View (IFOV)	1.55 mrad across-track, 2.2 mrad along-track

die Bilddaten $\log_{10}(1/R)$ -transformiert (R = Reflexion). Die so erhaltene „Pseudo-Absorption“ zeigt ein nahezu lineares Verhalten zur tatsächlichen Absorption von Stoffen (KUMAR et al. 2001). Die spektrale Information für die Aufnahme­flächen am Grund wurde dem Bild entnommen. Dafür wurden jeweils die Spektren von 9 umgebenen Bildpunkten gemittelt.

Vegetationsdaten

Die Felddaten zur Zusammensetzung der Pflanzendecke wurden in 37 Aufnahme­flächen mit einer stratifizierten Anordnung erhoben. In den Probeflächen (3 m²) wurden alle auftretenden Gefäßpflanzen mit ihrer Deckung sowie die Gesamtmächtigkeiten von Moos- und Krautschicht notiert. In den Aufnahmen kamen insgesamt 134 Pflanzensippen vor.

Die Transformation zu Ordinations-Achsenwerten erfolgte mit einer Detrended Correspondence Analysis (DCA, HILL & GAUCH 1980). Die DCA errechnet aufgrund der Datenmatrix aus Arten und Aufnahmen unabhängige Gradienten mit maximaler Artendispersion und bildet diese Gradienten als Achsen ab. In dem von den Achsen aufgespannten (virtuellen) Ordinations-Raum sind die Aufnahme­flächen entsprechend ihrer Position auf den Gradienten angeordnet. Die erste Achse steht für die größten Unterschiede in der Artenzusammensetzung (den „längsten“ floristischen Gradienten), die zweite Achse für die größten Unterschiede in der verbleibenden, noch unerklärten Variation, und so fort. Die DCA ist vor allem für Verhältnisse mit „langen“ Gradienten bzw. starken Unterschieden in der Artenzusammensetzung geeignet. Bei „kurzen“ Gradienten bzw. geringfügigen Unterschieden in der Artenzusammensetzung kann sie z. B. durch eine Hauptkomponentenanalyse ersetzt werden (LEPŠ & ŠMILAUER 2003).

Modell

Ordinations-Achsenwerte auf der einen Seite und Spektral­daten auf der anderen Seite wurden durch eine Regressionsanalyse zu-

einander in Bezug gesetzt. Dafür wurde eine Partial Least Squares- (PLS-) Regression verwendet, die den starken Korrelationen zwischen den Spektral­bändern gerecht wird (WOLD 1966, 1981, NAES & MARTENS 1985, MARTENS & NAES 1992, TER BRAAK & DE JONG 1998). Die Qualität der Regressionsmodelle wurde durch eine Beschränkung auf spektrale Bänder mit hoher Aussagekraft verbessert. Diese Bänder wurden anhand der gewichteten Regressionskoeffizienten und anhand von Martens' Unsicherheitstest bestimmt (MARTENS & MARTENS 2000, DAVIES 2001). Die Regressionsgleichungen aus den PLS-Regressionen wurden dazu verwendet, um aus den Bilddaten Karten abzuleiten. Die Überprüfung der Modellqualitäten erfolgte über Kreuzvalidierungen.

Ergebnisse

Felddaten und Ordination

Die ersten drei Achsen der DCA standen für 63% der Variation in der Artenzusammensetzung. Die dritte Achse machte davon nur 3% aus. Die beiden ersten, in Abb. 1 gezeigten Achsen repräsentieren die wichtigsten Gradienten in den untersuchten Aufnahme­flächen. Die Aufnahme­flächen sind als Punkt­signaturen wiedergegeben wobei die Punkt­stärken für die Deckung von ausgewählten Arten stehen. Die Darstellung dieser typischen Arten verbildlicht das Auftreten von Vegetationstypen entlang der Achsen.

Achse 1 spiegelt eine Abnahme im Auftreten von Arten kalkreicher (Abb. 1, links) und kalkarmer Standorte (rechts). Im Zentrum der Ordination stehen typische Pfeifengras-Streuwiesen, links Übergänge zu Kalkflachmooren. Rechts differenziert Achse 2 zwischen Aufnahmen in nährstoffreichen Wiesen (Abb. 1, unten) und Aufnahmen in armen, sauren Sümpfen (Abb. 1, oben). Am Beginn von Achse 2 stehen Kohldistelwiesen, am Ende Riede mit Schnabelsegge und Schmalblättrigem Wollgras. Die Verteilung der diagnostischen Arten zeigt, dass die Vegetationstypen nicht abrupt voneinander geschieden sind.

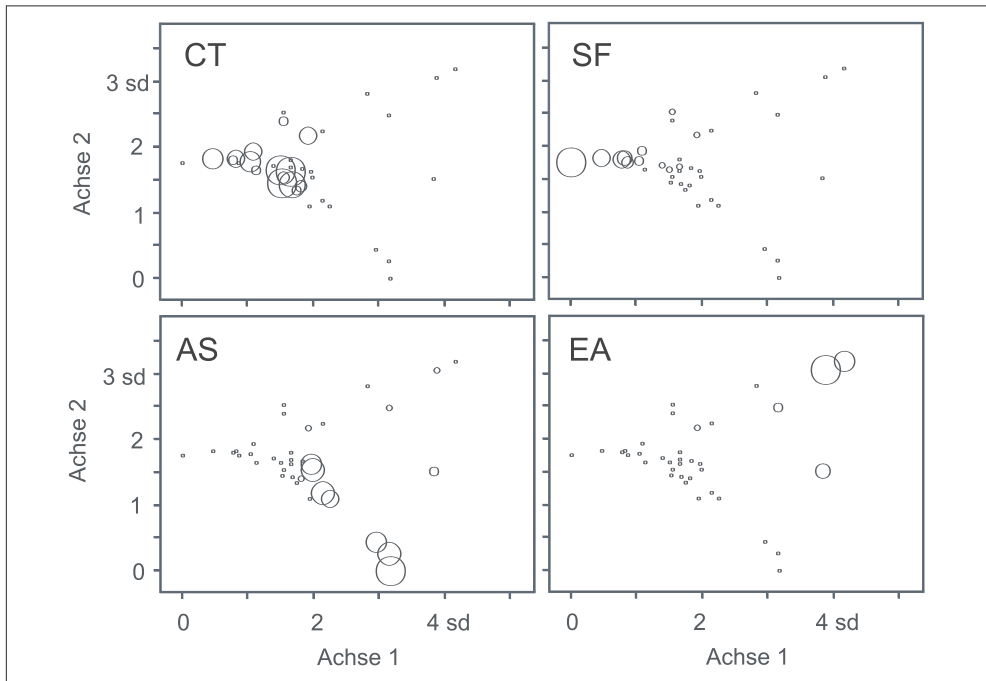


Abb. 1: Biplots mit den ersten zwei Achsen der Ordination (DCA) und der Lage der Aufnahmeflächen im Ordinationsraum (Kreissignaturen). Die Punktgrößen verbildlichen die Deckung einiger diagnostischer Pflanzenarten. CT = *Cirsium tuberosum* (L.) All. für die Pfeifengras-Streuwiesen (*Molinietum caeruleae* W. KOCH 1926), SF = *Schoenus ferrugineus* L. für die Übergänge zu den Kalkflachmooren (*Caricion davallianae* Klika 1934), AS = *Angelica sylvestris* L. für die Kohldistelwiesen (*Angelico-Cirsietum* R. Tüxen 1937), EA = *Eriophorum angustifolium* Honck. für die Schnabelseggen-Wollgras-Riede (*Carex rostrata-Eriophorum angustifolium*-Gesellschaft). sd = Standardabweichung in der Artendispersion, Skalierungen der Kreissignaturen: AS = 0–2.7% Deckung, CT = 0–2.7%, EA = 0–58%, SF = 0–41%; nach SCHMIDTLEIN & SASSIN (2004).

Vegetation und Reflexion

Die modellierten floristischen Gradienten zeigen eine gute Übereinstimmung mit den im Feld beobachteten Gradienten ($R^2 = 0,71$ und $0,66$ für die beiden DCA-Achsen, Abb. 2). Die Fehler in der Kreuzvalidierung (*root mean square errors*) belaufen sich auf $0,51$ sd bzw. $0,37$ sd (sd = Standardabweichung in der Artendispersion entlang der Achsen – 4 sd stehen für die Spanne einer Art entlang einer Achse; HILL & GAUCH 1980). Die Modellfehler betragen also bis rund $1/8$ einer Artenspanne. Die Fehler waren dabei nicht gleichmäßig verteilt sondern konzentrierten sich in den verhältnismäßig wenig durch Aufnahmen repräsentierten Einheiten an den extremen Enden der Gradienten.

Wichtige Wellenlängen für die Vorhersage der ersten DCA-Achse lagen im Bereich um den Red Edge (716–738 nm), im sichtbaren Rot (648–686 nm) und im nahen Infrarot um 850 nm. Die zweite Achse war besonders gut durch Unterschiede in der Grün- und Blaufärbung um 520–565 und unter 437 repräsentiert. Unterschiede in allen diesen Bereichen können auf Unterschiede in biochemischen und biophysikalischen Merkmalen der Vegetationsdecke bezogen werden. So werden beide DCA-Achsen offenbar durch Variationen im Chlorophyllgehalt und korrelierten Variablen wie Blattflächenindex und Stickstoffgehalt gekennzeichnet (z. B. GUYOT et al. 1992, YODER & PETTIGREW-CROSBY 1995, THENKABAIL et al. 1999, CLEVERS & JONGSCHAAP 2001, HANSEN &

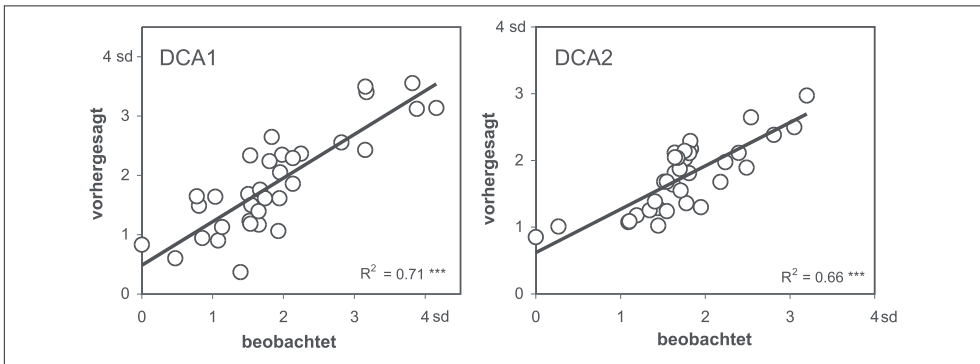


Abb. 2: Ergebnis der Kreuzvalidierung des Regressionsmodells für die Vorhersage von DCA-Achsenwerten. In der Kreuzvalidierung werden reihum alle Feldaufnahmen aus der Modellkalibrierung ausgeschlossen. Die dann für die entsprechende Aufnahme vorhergesagten Werte liegen der Validierung zugrunde. Nach SCHMIDTLEIN & SASSIN (2004).

SCHJOERRING 2003), was gut zu den im Feld beobachteten Trends in der Wüchsigkeit, Dichte und Hartlaubigkeit der Pflanzendecke passt.

Die Übertragung der Ordinationswerte von den Feldaufnahmen in die Fläche erbrachte Muster, die in Feldbeobachtungen weitgehend verifiziert werden konnten. Das Kartenbeispiel in Abb. 3 zeigt zwei der Pfeifengras-Streuwiesen mit verschiedenen, ineinander übergehenden floristischen Ausbildungen.

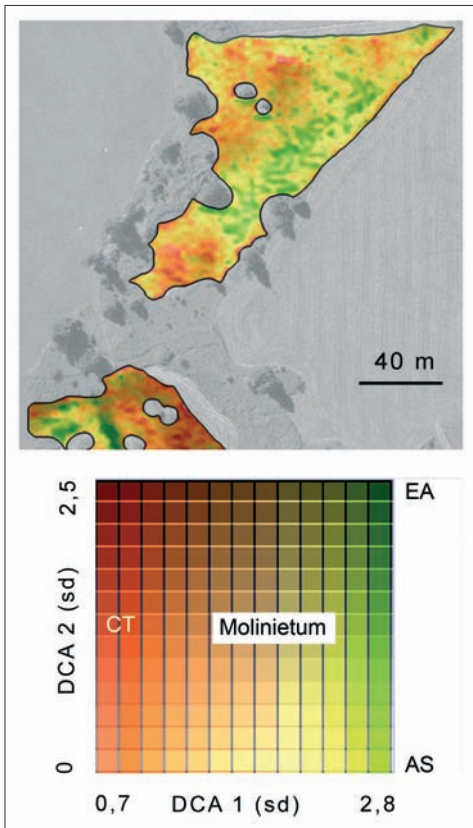


Abb. 3: Ausschnitt aus der Karte der Pflanzengesellschaften. Die Legende zeigt den von den zwei ersten Achsen der Ordination aufgespannten Merkmalsraum. Die erste Achse (DCA 1, rot bis grün) steht für die größten Unterschiede in der Artenzusammensetzung, die zweite (DCA 2, Helligkeitsverlauf) für die größten Unterschiede in der verbleibenden, noch nicht erklärten Variation. Jede Farbe repräsentiert eine Artenkombination. Der gezeigte Ausschnitt umfasst verschiedene Typen der Pfeifengrasstreuwiesen (*Molinietum caeruleae* W. KOCH 1926) und ihre Übergänge: Der linke Bereich der Ordination umfasst eine Ausbildung mit *Cirsium tuberosum* (CT), nach Rechts schließen sich die Übergänge zu den Schnabelseggen-Wollgras-Rieden (EA) und den Kohldistelwiesen (AS) an. Die zuletzt genannten Einheiten selbst kommen im dargestellten Ausschnitt nicht vor.

Diskussion

Die Fernerkundung tut sich mit der Kartierung von Artenzusammensetzungen der Vegetation besonders schwer (LEWIS 1998). Dies kann daran liegen, dass die verwendeten Methoden der Vegetationskunde und der Fernerkundung nicht kompatibel sind (ebd.). Das in diesem Aufsatz gezeigte Beispiel führt vor Augen, dass die Fernerkundung bei sorgfältiger Methodenkombination besonders auch in Fällen mit unscharf abgegrenzten Vegetationstypen eine Hilfe sein kann.

Auf Seiten der Vegetationskunde stehen verschiedene Klassifikationsansätze zur Auswahl, von denen der im deutschsprachigen Raum dominierende pflanzensoziologische Ansatz (MÜLLER-DOMBOIS & ELLENBERG 1974, DIERSCHKE 1994) gewiss einer derjenigen ist, die am wenigsten mit Fernerkundungsmethoden kompatibel sind: Der Pflanzensoziologie liegen, wie oben bereits angesprochen, Kriterien zugrunde, die für Reflexionsmerkmale irrelevant sein können. Neben den Klassifikationsansätzen gibt es in der Vegetationskunde ein breites Spektrum von Ordinationsmethoden (JONGMAN et al. 1995, MCCUNE et al. 2002, LEPŠ & ŠMILAUER 2003). Sie werden dem teilweisen

Kontinuumcharakter der Vegetation (AUSTIN & SMITH 1989) besser gerecht als Klassifikationen. Für Kartierzwecke sind dabei vor allem solche Verfahren interessant, die explizit Gradienten in der Vegetationszusammensetzung adressieren (SCHMIDTLEIN & SASSIN 2004). Eines dieser Ordinationsverfahren ist die im Beispiel verwendete Detrended Correspondence Analysis (DCA, HILL & GAUCH 1980).

Wie in der Vegetationskunde stehen auch in der Bildverarbeitung klassifizierende und nicht-klassifizierende Ansätze zur Verfügung. Der Sinn von Klassifizierungen ist Vereinfachung; kombiniert man Klassifikationen der Vegetationskunde mit solchen der Bildverarbeitung, vervielfachen sich die Abweichungen von der Realität. Im vorgestellten Beispiel wurden deswegen zwei nicht-klassifizierende Verfahren miteinander kombiniert, nämlich DCA und Partial Least Squares-Regression (PLS, WOLD 1966).

Neben der DCA gibt es Ordinationsverfahren wie die Kanonische Korrespondenzanalyse (CCA, TER BRAAK 1986), die die Arten-Aufnahmenmatrix unmittelbar mit der Reflexion oder abgeleiteten Hauptkomponenten in Bezug setzen. Dem zweistufigen Vorgehen (erst Ordination, dann Regression) wurde hier aufgrund der größeren Fle-

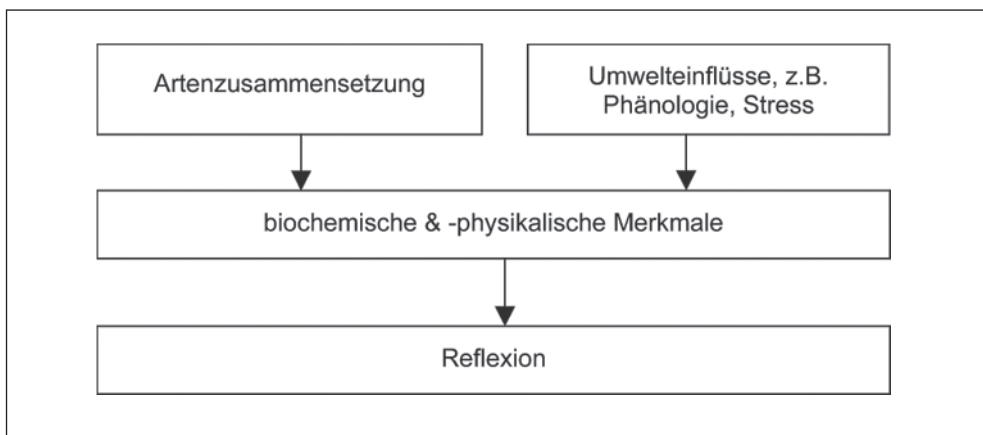


Abb. 4: Der Einfluss von Umwelteinflüssen auf die biochemischen und biophysikalischen Merkmale der Vegetationsdecke verbietet eine Generalisierung des Verhältnisses zwischen Artenzusammensetzung und Reflexion. Deshalb sind bei jeder neuen Aufnahme Feldaufnahmen zur Neukalibrierung unverzichtbar.

xibilität in beiden Schritten der Vorzug gegeben. Die Kartierung von Achsenwerten aus Ordinationen erwies sich im Beispiel als gut geeignet, um Muster in der Vegetationszusammensetzung abzubilden. Dabei ist zu beachten, dass Achsenwerte in Ordinationen keine absoluten Werte darstellen, sondern unter veränderten Vegetationsverhältnissen Unterschiedliches bezeichnen. Die entsprechenden Grauwerte stehen also in unterschiedlichen Datensätzen für unterschiedliche Artenkombinationen, und dies gilt auch für aufeinander folgende Zeitschnitte am gleichen Ort. Für solche Vergleiche ist die Anwendung von einer Ordination auf die Felddaten von mehreren Zeitschnitten zu empfehlen.

Der Vergleich der für die Vorhersage von Vegetationsgradienten wichtigen Wellenlängenbereiche mit den aus der Literatur bekannten spektralen Merkmalen von biochemischen und biophysikalischen Parametern zeigte erwartungsgemäß deren steuernden Einfluss. Der Zusammenhang zwischen Gradienten und Reflexion ist freilich kein zwingender – die gleiche Artenzusammensetzung kann unter anderen Rahmenbedingungen (Phänologie, Stress) abweichende reflexionsbestimmende Merkmale aufweisen (Abb. 4). Dieser Umstand führt dazu, dass bei Aufnahmen an einem neuen Ort oder nach einem Zeitraum, in der sich die Artenzusammensetzung geändert haben kann, neue Feldaufnahmen nötig sind um den Bezug herzustellen. Es ist auch denkbar, dass phänologische Prozesse Gradienten verwischen. Ein multitemporaler Ansatz könnte helfen, die Methode zu verbessern. Dies soll in weiteren Untersuchungen geprüft werden.

Danksagung

Die Autoren danken den Kollegen von der Ludwig-Maximilians-Universität München, Sektion Geographie, Ground Truth Centre Oberbayern, wo ein Teil der Fallstudie entstand.

Literatur

- ARMITAGE, R.P., KENT, M. & WEAVER, R.E., 2004: Identification of the spectral characteristics of British semi-natural upland vegetation using direct ordination: a case study from Dartmoor, UK. – *International Journal of Remote Sensing* **25**: 3369–3388.
- AUSTIN, M.P. & SMITH, T.M., 1989: A new model for the continuum concept. – *Vegetatio* **83**: 35–47.
- BOARDMAN, J.W. & KRUSE, F.A., 1994: Automated spectral analysis: a geological example using AVIRIS data, north Grapevine Mountains, Nevada. – In: Proceedings, ERIM 10th thematic conference on geologic remote sensing, S. 407–418. Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, MI.
- CLEVERS, J.P. & JONGSCHAAP, R., 2001: Imaging spectrometry for agricultural applications. – In: VAN DER MEER, F.D. & JONG, S.M. (eds.): *Imaging spectroscopy*. – p. 157–199, Kluwer Academic Press, Dordrecht, Netherlands.
- DAVIES, H.C., 2001: Uncertainty testing in PLS regression. – *Spectroscopy Europe* **13**: 16–19.
- DIERSCHKE, H., 1994: *Pflanzensoziologie. Grundlagen und Methoden*. – 683 S., UTB, Ulmer, Stuttgart.
- GUYOT, G., BARET, F. & JACQUEMOUD, S., 1992: Imaging spectroscopy for vegetation studies. – In: TOSELLI, F. & BODECHTEL, J. (eds.): *Imaging spectroscopy: fundamentals and prospective applications*, S. 145–165, Kluwer Academic Publications, Dordrecht, Netherlands.
- HANSEN, P.M. & SCHJOERRING, J.K., 2003: Reflectance measurement of canopy biomass and nitrogen status in wheat crops using normalized difference vegetation indices and partial least squares regression. – *Remote Sensing of Environment* **86**: 542–553.
- HILL, M.O. & GAUCH, H.G., 1980: Detrended correspondence analysis: an improved ordination technique. – *Vegetatio* **42**: 47–58.
- JONGMAN, R.H.G., TER BRAAK, C.J.F. & VAN TONGEREN, O.F.R. (Hrsg.), 1995: *Data analysis in community and landscape ecology*. – 299 p., Cambridge University Press, Cambridge.
- KUMAR, L., SCHMIDT, K., DURY, S. & SKIDMORE, A., 2001: Imaging spectrometry and vegetation science. – In: VAN DER MEER, F.D., & DE JONG, S.M. (eds.): *Imaging spectroscopy. Basic principles and prospective applications*. – p. 111–155, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- LEPŠ, J. & ŠMILAUER, P., 2003: *Multivariate Analysis of Ecological Data using CANOCO*. – 269 p., Cambridge University Press, Cambridge.

- LEWIS, M.M., 1998: Numeric Classification as an Aid to Spectral Mapping of Vegetation Communities. – *Plant Ecology* **136**: 133–149.
- MARTENS, H. & MARTENS, M., 2000: Modified Jack-knife estimation of parameter uncertainty in bilinear modelling by partial least squares regression (PLSR). – *Food Quality and Preference* **11**: 5–16.
- MARTENS, H. & NAES, T., 1992: *Multivariate calibration*. – Wiley, Chichester, UK.
- MCCUNE, B., GRACE, J.B. & URBAN, D.L., 2002: *Analysis of ecological communities*. – 300 p., Mjrm Software Design, Gleneden Beach, OR.
- MÜLLER-DOMBOIS, D. & ELLENBERG, H., 1974: *Aims and methods of Vegetation Ecology*. – 547 p., John Wiley and Sons, New York.
- NAES, T. & MARTENS, H., 1985: Comparison of prediction methods for multicollinear data. – *Communications in Statistics, Simulation and Computation* **14**: 545–576.
- NAKAJIMA, T. & TANAKA, M., 1988: Algorithms for radiative intensity calculations in moderately thick atmospheres using truncation approximation. – *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer* **40**: 51–69.
- OHMAN, J.L. & GREGORY, M.J., 2002: Predictive mapping of forest composition and structure with direct gradient analysis and nearest-neighbor imputation in coastal Oregon, U.S.A. – *Canadian Journal of Forest Research* **32**: 725–741.
- OPPELT, N. & MAUSER, W., : Hyperspectral monitoring of physiological parameters of wheat during a vegetation period using AVIS data. – *International Journal of Remote Sensing* **25**: 145–159.
- SCHMIDTLEIN, S. & SASSIN, J., 2004: Mapping of continuous floristic gradients in grasslands using hyperspectral imagery. – *Remote Sensing of Environment* **92**: 126–138.
- TER BRAAK, C.J. F., 1986: Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. – *Ecology* **67**: 1167–1179.
- TER BRAAK, C.J. F. & DE JONG, S.M., 1998: The objective function of partial least squares regression. – *Journal of Chemometrics* **12**: 41–54.
- THENKABAIL, P.S., SMITH, R.O. & DE PAUW, E., 1999: Hyperspectral vegetation indices and their relationships with agricultural crop characteristics. – *Remote Sensing of Environment* **71**: 158–182.
- VAN DE VEN, C.M. & WEISS, S.B., 2001: Mapping arid vegetation species distributions in the White Mountains, eastern California, using AVIRIS, topography, and geology. – In: *AVIRIS Proceedings: May 20 and 21, 1991*. – Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA.
- WOLD, H., 1966: Estimation of principal components and related models by iterative least squares. – In: KRISHNAIAH, P.R. (ed.): *Multivariate Analysis*. – p. 391–420. Academic Press, New York.
- WOLD, H., 1981: *The fix-point approach to interdependent systems*. – North Holland, Amsterdam.
- YODER, B.J. & PETTIGREW-CROSBY, R.E., 1995: Predicting nitrogen and chlorophyll content and concentrations from reflectance spectra (400–9,500 nm) at leaf and canopy scales. – *Remote Sensing of Environment* **53**: 199–211.

Anschriften der Autoren:

Dr. SEBASTIAN SCHMIDTLEIN
 Universität Bayreuth, Biogeographie
 D-95440 Bayreuth, e-mail:
 sebastian.schmidtlein@uni-bayreuth.de

Mag. Dr. SABINE GRABNER
 Leopold Franzens Universität Innsbruck
 Institut für Botanik, Sternwartestr. 15
 A-6020 Innsbruck,
 e-mail: sabine.grabner@uibk.ac.at

Mag. JULIA SASSIN
 Leopold Franzens Universität Innsbruck,
 Institut für Botanik, Sternwartestr. 15
 A-6020 Innsbruck,
 e-mail: julia.sassin@gmx.de

Manuskript eingereicht: Januar 2005
 Angenommen: März 2005

Optimierung der topographischen Normalisierung optischer Satellitendaten durch Einbeziehung von Kohärenzinformation

ANDRÉ TWELE & STEFAN ERASMI, Göttingen

Keywords: remote sensing, satellite data, pre-processing, topographic correction, rain-forest mapping

Zusammenfassung: Die Topographie der Landoberfläche beeinflusst neben der Aufnahmegeometrie und Atmosphärenbedingungen in entscheidendem Maße die durch Multispektral-Scanner gemessene Strahldichte im optischen Wellenlängenbereich. Aus diesem Grunde muss das Relief bei der Prozessierung von Satellitendaten optischer Sensoren in geeigneter Form berücksichtigt werden. Da der Grad der Reflexion einer Oberfläche neben Objekt- und Reliefeigenschaften auch von der Anisotropie der Landoberfläche abhängt, sollten bei der Reliefkorrektur zusätzlich Objektklassen bzw. strukturelle Oberflächeneigenschaften berücksichtigt werden. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der statistischen Bewertung verschiedener (lambertscher und nicht-lambertscher) Verfahren der Reliefkorrektur. Die Modifikation der vorhandenen Verfahren erfolgte durch die Einbeziehung von aus SAR-Satellitendaten abgeleiteten Kohärenzmesungen. Die Ergebnisse zeigen, dass eine stratifizierte Reliefkorrektur auf Basis von Kohärenzdaten den Einfluss der Topographie auf die Reflexion solarer Einstrahlung erheblich verringert. Hierdurch wird eine verbesserte Klassenhomogenität und spektrale Trennbarkeit von Landschaftseinheiten erreicht.

Summary: *Optimizing topographic correction algorithms for optical satellite data using coherence information.* Apart from viewing geometry and atmospheric conditions, the topography of the land surface substantially affects reflectance measurements from multispectral scanners in the optical domain. For this reason, topographically induced illumination effects must be accounted for using suitable preprocessing methods. Besides object properties and topographic attributes, reflectance characteristics are also influenced by the degree of surface anisotropy. Therefore, the terrain normalization methodology should ideally be tailored to the variability of structural surface properties within the area under investigation. This study evaluated different algorithms (both lambertian and non-lambertian) for topographic normalization of optical satellite imagery using statistical analysis. A modification of existing methods was carried out by the inclusion of coherence information derived from spaceborne interferometric SAR-data. The results show that stratified terrain correction based on coherence classes strongly reduces the topographic impact and leads to an improved class homogeneity and spectral separability of landscape units, potentially minimizing misclassification due to spectral overlap.

1 Einleitung

Die Qualität von Produkten, die aus multispektralen Satellitendaten abgeleitet werden, ist maßgeblich von der Güte der Datenvorprozessierung abhängig. Diese sollte neben Sensorkalibrierung und Atmosphärenkorrektur immer auch den Einfluss des Reliefs auf die Reflexion von Landoberflächen

berücksichtigen. Die Vernachlässigung des Reliefeinflusses kann zu erheblichen Fehlinterpretationen sowohl bei der Ableitung qualitativer Merkmale (Landoberflächentypen) als auch bei der Schätzung biophysikalischer Oberflächenparameter aus Reflexionswerten führen. Die Auswirkung der Signalverfälschung ist im Allgemeinen abhängig von dem lokalen Einfallswinkel und

der Wellenlänge der solaren Einstrahlung, sowie von den Reflexionscharakteristika der Landoberfläche. Zur Korrektur der reliefbedingten radiometrischen Verzerrung existiert eine Reihe von Korrekturverfahren, die sich generell in zwei Gruppen unterteilen lassen. Die physikalisch basierten Ansätze beruhen in den meisten Fällen auf der Inversion von Strahlungs- bzw. Reflexionsmodellen. Da diese Modelle auf eine möglichst exakte Beschreibung von Oberflächenparametern auf Bestandesebene angewiesen sind ist ihre Anwendbarkeit in den meisten Fällen nur eingeschränkt möglich bzw. sehr zeitaufwendig. Die andere Gruppe der Korrekturverfahren basiert auf dem lokalen solaren Einfallswinkel, wobei je nach Modell zusätzlich wellenlängen- und/oder landoberflächenabhängige Korrekturfaktoren einbezogen werden. Eine Reihe von Studien haben gezeigt, dass bereits mit diesen, im Vergleich zu den physikalischen Modellen, relativ einfachen Methoden eine grundlegende Verbesserung der Satellitenbildinterpretation, vor allem in gebirgigem Gelände, erzielt werden kann (MEYER et al. 1993, HEROLD et al. 2000, RIAÑO et al. 2003). Die Genauigkeit von Korrekturverfahren auf Basis des lokalen Einfallswinkels ist trotz der Beschränkung auf nur wenige Variablen in der Regel durch zwei Umstände eingeschränkt:

- die Verfügbarkeit und Lagegenauigkeit eines digitalen Geländemodells und
- die Problematik der Vorstratifizierung der Landoberfläche.

Vor allem für entlegene und schwer zugängliche Regionen, wie z. B. die Regenwälder der immerfeuchten Tropen, sind Geländemodelle selten in ausreichend genauer Auflösung verfügbar. Hier bieten jedoch die Daten der Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) seit kurzem eine viel versprechende Alternative. Der zweite Aspekt beruht auf der Problematik, dass der Oberflächentyp einen signifikanten Einfluss auf den wellenlängenabhängigen und empirisch ermittelten Korrekturfaktor hat. Da aber eine Landoberflächenklassifizierung immer erst auf Basis von vorprozessierten Daten statt-

finden kann, für die Prozessierung wiederum aber Informationen über die Landoberfläche benötigt werden, müssen geeignete Lösungsansätze für dieses Problem entwickelt werden. Solche Ansätze können bildbasierte Indikatoren (z. B. Vegetationsindizes) zur Landschaftskategorisierung verwenden oder geeignete Parameter aus zusätzlichen Datenquellen ableiten.

Der vorliegende Beitrag fasst zunächst die vorhandenen Methoden zur Korrektur topographisch induzierter radiometrischer Verzerrungen in optischen Satellitendaten zusammen. Anschließend werden Modifikationen der vorhanden Methoden vorgestellt sowie Lösungsansätze skizziert und diskutiert, die über eine vorab durchgeführte Landschaftskategorisierung (Stratifizierung) das Resultat einer topographischen Normalisierung verbessern können. Ziel der Untersuchungen ist die Erstellung eines einfachen und stabilen Verfahrens zur Reduktion des Reliefeinflusses auf die Reflexion von Landoberflächen in der optischen Satellitenfernerkundung.

2 Untersuchungsgebiet und verwendete Daten

Das Untersuchungsgebiet liegt in Sulawesi, Indonesien. Es wird begrenzt durch die Verwaltungsgrenzen von fünf Bezirken innerhalb der Provinz Zentral-Sulawesi (Sulawesi Tengah). Die Gesamtfläche des Gebietes beträgt ca. 7.500 km², wovon ca. 2.200 km² auf den Lore Lindu Nationalpark entfallen, dessen Randbereich den Übergangsbereich von Naturwald zu mehr oder weniger intensiven Landnutzungsformen bildet. Die Landnutzung im Randbereich des tropischen Regenwaldes in Zentral-Sulawesi ist geprägt durch eine Reihe verschiedener, räumlich und zeitlich heterogener Agroforst- und Landwirtschaftsformen, die einen Gradienten der Landnutzungsintensität und Artenvielfalt abbilden. Die Topographie im Untersuchungsgebiet ist durch stark reliefiertes Gelände mit Höhen zwischen 0 und 2600 m ü. NN gekennzeichnet.

Die Datenbasis für die Untersuchungen zur topographischen Normalisierung be-

steht aus einer Landsat ETM+-Aufnahme (Path/Row 114/61) vom 28.09.2002 für die Projektregion in Zentral-Sulawesi sowie aus Tandem-Aufnahmen der europäischen Radarsatelliten ERS-1 und ERS-2 (Frame 3627/3645). Die digitalen Höhendaten wurden aus topographischen Karten (1:50.000) erfasst. Sämtliche Datensätze wurden geometrisch auf UTM Zone 51 S (WGS84) angepasst. Die Landsat-Szene wurde hierbei mittels eines Sensormodells auf Basis des digitalen Höhenmodells und 65 Passpunkten orthorektifiziert. Weitere Vorprozessierungsschritte umfassten die Sensorkalibrierung, sowie eine Atmosphärenkorrektur nach CHAVEZ (1996).

3 Methoden der Topographischen Normalisierung

Grundsätzlich lassen sich die Methoden in zwei Gruppen unterteilen. Die sog. Cosinus-Modelle betrachten die Oberfläche als eine isotrope Fläche, von der die einfallende Strahlung in alle Richtungen gleichmäßig gestreut wird (lambertsches Modell). Eine Weiterentwicklung der lambertschen Methoden stellen die nicht-lambertschen Verfahren dar. Diese Gruppe von Verfahren versucht durch Verwendung von zumeist empirisch abgeleiteten Korrekturfaktoren die bidirektionale Komponente bei der Entstehung von Reflexionsmustern anzunähern. Die empirischen Faktoren werden in der Regel von der Wellenlänge, der Aufnahmegeometrie und der Oberflächenbeschaffenheit beeinflusst (MEYER et al. 1993, TOKOLA et al. 2001). Für die Verwendung jedes der beschriebenen Korrekturverfahren ist zunächst die Errechnung des lokalen solaren Einfallswinkels i notwendig. Dieser ergibt sich aus dem Winkel zwischen direkter solarer Einstrahlung und der Flächennormalen eines Geländeausschnitts und kann aus dem solaren Zenitwinkel und einem vorliegenden digitalen Geländemodell für jedes Bildelement berechnet werden (Gl. 1):

$$\cos(i) = \cos\Theta_n \times \cos\Theta_{sz} + \sin\Theta_{sz} \times \sin\Theta_n \times \cos(\Phi_s - \Phi_n)$$

Hierbei beschreibt Θ_{sz} den Zenitwinkel und Φ_s den Azimut der direkt einfallenden Sonnenstrahlen, Θ_n die Neigung und Φ_n die Exposition des Geländeausschnitts.

Das einfachste Verfahren zur topographischen Korrektur ist die Cosinus-Methode (TEILLET et al. 1982), die lediglich den Zenitwinkel der Sonne und den errechneten lokalen Einfallswinkel i berücksichtigt:

$$L_n = L \times \frac{\cos(\Theta_{sz})}{\cos(i)} \quad (Gl. 2)$$

L gibt hierbei den Reflexionsgrad einer geneigten Oberfläche an, L_n beschreibt den korrigierten Reflexionswert. Die Cosinus-Korrektur überinterpretiert in der Regel den Einfluss des Reliefs auf die gerichtete Reflexion (MEYER et al. 1993, HEROLD et al. 2000), was auf das zugrunde liegende Modell der isotropen Oberfläche mit gleichförmiger, richtungsunabhängiger Reflexion zurück zu führen ist. Die Überkorrektur macht sich insbesondere in sehr steilen, sonnenabgewandten Geländeabschnitten bemerkbar.

Eine Erweiterung der Cosinus-Korrektur stellt das Minnaert-Modell dar. MINNAERT (1941) führte als Faktor für den Grad der Richtungsverteilung der Reflexion eine wellenlängenabhängige Konstante k ein, die durch die Steigung der folgenden Gleichung beschrieben werden kann (Gl. 3):

$$\log(L \times \cos\Theta_n) = \log L_n + k \times \log(\cos(i) \times \cos(\Theta_n))$$

Das Cosinus-Modell wird durch die Minnaert-Konstante wie folgt erweitert:

$$L_n = L \times \left(\frac{\cos(\Theta_{sz})}{\cos(i)} \right)^k \quad (Gl. 4)$$

Eine Modifikation der Minnaert-Korrektur erfolgt bei COLBY (1991) durch die Einbeziehung des Neigungswinkels Θ_n , welcher bei Nadir-blickenden Sensoren dem lokalen Aufnahmewinkel entspricht:

$$L_n = L \times \cos(\Theta_n) \times \left(\frac{\cos(\Theta_{sz})}{\cos(i) \times \cos(\Theta_n)} \right)^k \quad (Gl. 5)$$

Ähnlich dem Minnaert-Modell erfolgt auch bei der C-Korrektur (TEILLET et al. 1982) eine Gegenkorrektur zur Übergewichtung des Topographieinflusses beim Cosinus-Verfahren durch die Implementierung einer semi-empirischen Konstante.

$$L_n = L \times \left(\frac{\cos(\Theta_{sz}) + c}{\cos(i) + c} \right) \quad (\text{Gl. 6})$$

Die Konstante c ergibt sich als Quotient aus den Variablen Schnittpunkt und Steigung der linearen Regression des spektralen Reflexionsgrades aus $\cos(i)$:

$$L = m \times \cos(i) + b \quad \text{mit} \quad c = \frac{b}{m} \quad (\text{Gl. 7})$$

Auf der gleichen Annahme dieses linearen Zusammenhangs basiert das empirisch-statistische Korrektur-Modell (MEYER et al. 1993):

$$L_n = L - \cos(i) \times m - b + \bar{L} \quad (\text{Gl. 8})$$

Der Parameter beschreibt die landoberflächenspezifische mittlere Reflexion für jeden untersuchten Spektralbereich.

Die Bewertung der Korrektur-Modelle erfolgt nach visueller Interpretation der korrigierten Bildausschnitte durch die Berechnung statistischer Parameter, welche geeignet sind, das Ausmaß der Bildverbesserung quantitativ darzustellen. Diese gehen im Wesentlichen aus der Regressionsgleichung von Reflexionsgrad und $\cos(i)$ hervor (Steigung m , Bestimmtheitsmaß R^2) und werden durch die Betrachtung der klassenspezifischen Bildstatistik (Mittelwert, Variationskoeffizient) der korrigierten Reflexionswerte vervollständigt. Ein ideales Korrekturmodell sollte für die Parameter m und R^2 Werte nahe Null aufweisen. Daneben sollte die Klassenhomogenität durch die Korrektur verbessert werden.

Die Berechnung der semi-empirischen Konstanten für die nicht-lambertschen Verfahren erfolgte zunächst wellenlängenspezifisch für den in der Untersuchungsregion vorherrschenden Landoberflächentyp „tropischer Regenwald“. Die Modellbildung erfolgte jeweils auf Basis einer Stichprobe von

ca. 5000 Bildpunkten. Zur Validierung der verschiedenen Korrekturansätze wurden mittels Stichprobe 6850 Bildpunkte im Zufallsverfahren (random sampling) ermittelt. Des Weiteren wurden die Korrekturfaktoren für die nicht-lambertschen Modelle neben einer wellenlängenspezifischen auch einer landoberflächenspezifischen Differenzierung unterzogen. Als alternative Stratifizierungsbasis wurde in dieser Arbeit anstatt Vegetationsindices die aus ERS-Tandemdaten abgeleitete interferometrische Kohärenz zu Grunde gelegt. Von dieser wird ein generell größerer Zusammenhang zu strukturorientierten, die Minnaert-Konstante beeinflussenden, Landschaftsparametern erwartet (TWELE & ERASMI 2005). Zur Beantwortung der Frage, in welchem Maße eine stratifizierte Korrekturmethode zu einer verbesserten Normalisierung aller Oberflächentypen beiträgt, wurde eine synthetische Schwellenwertbildung der gefilterten Kohärenz in drei Landoberflächenkategorien vorgenommen und die hieraus gewonnenen Korrekturergebnisse nach o.g. Verfahren statistisch analysiert.

4 Ergebnisse

4.1 Korrektur ohne Stratifizierung

Bereits der visuelle und statistische Vergleich unkorrigierter Bilddaten mit einem aus dem digitalen Höhenmodell abgeleiteten Beleuchtungsmodell verdeutlicht den starken Einfluss der Topographie auf die Reflexion im optischen Wellenlängenbereich (Abb. 1). Dieser wird durch die Betrachtung der Bestimmtheitsmaße für die lineare Regression der Reflexion aus $\cos(i)$ belegt. Die wellenlängenabhängigen Werte für R^2 weisen bei nicht-korrigierten Daten mit einem Bestimmtheitsmaß von bis zu 0.5233 (Landsat ETM+ Kanal 4) auf einen starken Einfluss reliefbedingter Beleuchtungsverhältnisse auf die Reflexion hin (Tab. 1).

Das Cosinus-Verfahren erwies sich als unzureichend, den Topographieinfluss zu kompensieren und führte in der Gesamtbeurteilung der statistischen Parameter sogar zu einer Verschlechterung des unkorrigier-

Tab. 1: Regressionsparameter aus $L_n = m \times \cos(i) + b$ und Variationskoeffizient der Klasse „tropischer Regenwald“; exemplarisch für die Kanäle 3, 4 und 7.

Landsat ETM+ Band	Korrekturmethode	Steigung (m)	Mittelwert (μ)	R^2	Variationskoeffizient (%)
Band 3	Unkorrigiert	0.0116	0.0218	0.390	13.89
	Cosinus (Gl. 2)	-0.0213	0.0241	0.570	19.02
	Minnaert (Gl. 4)	0.0004	0.0225	0.001	11.08
	Minnaert (modif.) (Gl. 5)	0.0026	0.212	0.033	10.83
	C-Factor (Gl. 6)	0.0027	0.0223	0.031	11.12
	Statistical-Empirical (Gl. 8)	0.0021	0.0219	0.021	10.92
Band 4	Unkorrigiert	0.1506	0.2719	0.523	12.46
	Cosinus (Gl. 2)	-0.2613	0.3006	0.643	17.65
	Minnaert (Gl. 4)	-0.047	0.2849	0.080	9.48
	Minnaert (modif.) (Gl. 5)	-0.0221	0.2716	0.025	8.40
	C-Factor (Gl. 6)	-0.0332	0.2832	0.045	9.04
	Statistical-Empirical (Gl. 8)	-0.0286	0.2668	0.038	8.94
Band 7	Unkorrigiert	0.0273	0.0589	0.449	11.25
	Cosinus (Gl. 2)	-0.0632	0.0654	0.705	18.75
	Minnaert (Gl. 4)	-0.0076	0.0613	0.051	8.86
	Minnaert (modif.) (Gl. 5)	-0.0015	0.0579	0.003	8.25
	C-Factor (Gl. 6)	-0.002	0.0607	0.004	8.45
	Statistical-Empirical (Gl. 8)	-0.0018	0.0614	0.004	8.45

ten Bildes (Tab. 1). Dies schlägt sich insbesondere in sonnenabgewandten, stark geneigten Gebieten nieder, wo es zu einer deutlichen Überkorrektur des Reflexionssignals kommt (negative Werte für m).

Alle behandelten nicht-lambertschen Verfahren zeigen hingegen eine deutliche Verbesserung des Gesamtbildes, was sich in einer signifikanten Verminderung der Werte für m und R^2 zeigt. Die Varianzanalyse weist ebenfalls auf deutliche Verbesserungen gegenüber den nicht-korrigierten Bilddaten hin, d. h. der Mittelwert der Verteilung der Reflexionswerte für die Klasse „tropischer Regenwald“ wurde bei gleichzeitig niedriger Variabilität innerhalb der Waldgebiete weitestgehend erhalten. Diese Aussagen treffen sowohl für beide Varianten der Minnaert-Korrektur als auch für die C-Korrektur und die empirisch-statistische Modellierung zu. Obwohl die Unterschiede zwischen den nicht-lambertschen Modellen recht gering sind, wurden die insgesamt besten Ergebnisse mit der modifizierten Minnaert-Methode (v. a. im NIR/MIR-Spektralbereich) erzielt.

4.2 Korrektur mit Stratifizierung

Durch lineare Regression wurden aus den nach Kohärenzniveau stratifizierten Landoberflächenkategorien separate Koeffizientensätze (k) ermittelt. Diese lassen erkennen, dass mit steigender Kohärenz (bzw. geringerer Vegetationsdichte) auch die empirisch er-

Tab. 2: Minnaert-Konstanten k (Vorstratifizierung nach interferometrischer Kohärenz c).

Band	TM3	TM4	TM5	TM7
0 < c < 0.285 (hohe Vegetationsdichte)				
Minnaert Konstante k	0.3851	0.4795	0.5094	0.4417
0.285 ≤ c < 0.5 (mittlere Vegetationsdichte)				
Minnaert Konstante k	0.2234	0.4011	0.4115	0.3634
0.5 ≤ c < 1 (niedrige Vegetationsdichte bzw. unbewachsen)				
Minnaert Konstante k	0.2084	0.3522	0.3437	0.2884

Tab. 3: Regressionsparameter aus $L_n = m \times \cos(i) + b$ und Variationskoeffizient der nach Kohärenz c stratifizierten Datensätze; exemplarisch für die Kanäle 3, 4 und 7.

Landsat ETM+ Band	Korrekturmethode	Steigung (m)	Mittelwert (μ)	R^2	Variationskoeffizient (%)
$0 < c < 0.285$ (hohe Vegetationsdichte)					
Band 3	Unkorrigiert	0.0098	0.028	0.208	14.29
	Minnaert (mod.) (Gl. 5)	-0.0015	0.028	0.005	10.71
	Strat. Minnaert (mod.) (Gl. 5)	-0.0013	0.028	0.004	10.71
Band 4	Unkorrigiert	0.1634	0.301	0.586	11.96
	Minnaert (mod.) (Gl. 5)	-0.0216	0.318	0.024	7.55
	Strat. Minnaert (mod.) (Gl. 5)	0.0035	0.313	0.001	7.35
Band 7	Unkorrigiert	0.0297	0.064	0.403	12.50
	Minnaert (mod.) (Gl. 5)	-0.0002	0.066	0.000	9.09
	Strat. Minnaert (mod.) (Gl. 5)	-0.0008	0.066	0.001	9.09
$0.285 \leq c \leq 0.5$ (mittlere Vegetationsdichte)					
Band 3	Unkorrigiert	0.0045	0.044	0.012	13.64
	Minnaert (mod.) (Gl. 5)	-0.0145	0.046	0.099	15.22
	Strat. Minnaert (mod.) (Gl. 5)	-0.002	0.043	0.002	13.95
Band 4	Unkorrigiert	0.1367	0.306	0.238	14.05
	Minnaert (mod.) (Gl. 5)	-0.0703	0.337	0.064	12.76
	Strat. Minnaert (mod.) (Gl. 5)	0.0023	0.321	0.000	12.15
Band 7	Unkorrigiert	0.0247	0.074	0.077	18.92
	Minnaert (mod.) (Gl. 5)	-0.0121	0.079	0.017	17.72
	Strat. Minnaert (mod.) (Gl. 5)	-0.0031	0.077	0.001	17.18
$0.5 \leq c < 1$ (niedrige Vegetationsdichte bzw. unbewachsen)					
Band 3	Unkorrigiert	0.0112	0.086	0.001	37.21
	Minnaert (mod.) (Gl. 5)	-0.0189	0.089	0.003	38.20
	Strat. Minnaert (mod.) (Gl. 5)	0.0035	0.085	0.000	36.47
Band 4	Unkorrigiert	0.1261	0.249	0.067	19.28
	Minnaert (mod.) (Gl. 5)	-0.0482	0.271	0.008	19.19
	Strat. Minnaert (mod.) (Gl. 5)	0.0363	0.258	0.006	18.60
Band 7	Unkorrigiert	0.0488	0.150	0.006	45.33
	Minnaert (mod.) (Gl. 5)	-0.0307	0.157	0.003	44.59
	Strat. Minnaert (mod.) (Gl. 5)	0.0203	0.152	0.001	44.08

mittelten Minnaert-Konstanten sinken (Tab. 2). In einem folgenden Schritt wurden die nach Kohärenzniveau getrennten Bildbereiche mit den jeweils spezifisch für sie berechneten Minnaert-Konstanten topographisch normalisiert.

Die statistische Auswertung des aus der stratifizierten Korrektur berechneten Datensatzes zeigt eine weitere Verringerung des Topographieinflusses bei gleichzeitiger

Reduzierung des Variationskoeffizienten (Tab. 3). Da die Minnaert-Konstanten des nicht-stratifizierten Datensatzes überwiegend aus bewaldetem Gebiet mit niedriger Kohärenz ermittelt wurden, fallen die Unterschiede zwischen stratifizierter und nicht-stratifizierter Korrektur bei diesem Oberflächentyp relativ gering aus. Bei den nach mittlerer und hoher Kohärenz stratifizierten Oberflächenklassen zeigen sich hingegen

deutliche Vorteile von angepassten Minnaert-Konstanten, welches sich in einer weiteren Reduzierung der Werte für R^2 und m niederschlägt. Gleichzeitig fällt auf, dass die Mittelwerte μ der Klassenstatistik näher am unkorrigierten Datensatz liegen und so einer geringeren korrekturbedingten radiometrischen Verzerrung unterworfen sind.

5 Diskussion und Zusammenfassung

Die starke Verbesserung der mit nicht-lambertschen Korrekturverfahren erreichten Ergebnisse lässt sich in der vorliegenden Studie vor allem auf die Reflexionscharakteristika von tropischem Regenwald zurückführen, welche stark von einer diffusen, lambertschen Annahme abweichen. Diese Hypothese wird durch die ermittelten Minnaert-Konstanten unterstützt, welche auf

die relativ gerichteten Reflexionskomponenten natürlicher Oberflächen schließen lassen. Die Annahme eines lambertschen Streumodells führt deshalb folgerichtig zu einer starken Überkorrektur des Reliefeinflusses.

Bei der Anwendung nicht-lambertscher Korrekturverfahren bleibt in vielen Arbeiten unberücksichtigt, dass der Grad gerichteter bzw. vom lambertschen Modell abweichender Reflexion oberflächenspezifisch unterschiedlich ist. Nur wenige Arbeiten (HEROLD et al. 2000, TOKOLA et al. 2001) haben zur empirischen Berechnung der Korrekturkonstanten eine Trennung einzelner Oberflächenklassen vorgenommen. Hierbei wurde durch Schwellenwertbildung eines Vegetationsindex zumeist eine binäre Einteilung in die Klassen „Vegetation“ und „nicht-Vegetation“ vorgenommen.

Die Untersuchung nicht-lambertscher Verfahren hat in der vorliegenden Arbeit ge-

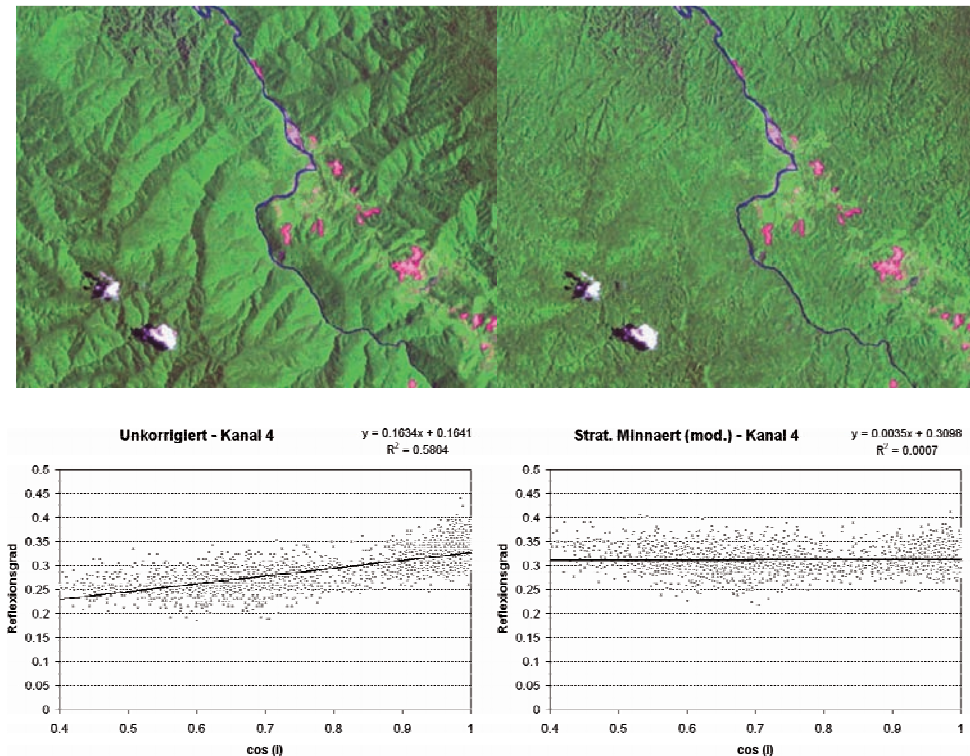


Abb. 1: Visueller (oben) und statistischer Vergleich (unten) eines unkorrigierten Bildausschnitts (links) im Vergleich zum Korrekturergebnis mit stratifizierter, modifizierter Minnaert-Methode (rechts) (RGB 7/4/3).

zeigt, dass es zur Minimierung von Fehlerkorrekturen erforderlich ist, oberflächenspezifische Korrektur-Konstanten (hier: Minnaert-Konstanten) zu ermitteln. Da die Klassifikation der Landnutzung bzw. Landoberfläche jedoch erst in einem der Korrektur nachfolgenden Arbeitsschritt durchgeführt werden kann, muss eine Stratifizierung aus kontinuierlichen, aus Satellitendaten abgeleiteten, Oberflächenindikatoren durchgeführt werden. Die in dieser Arbeit verwendete Stratifizierung mittels Schwellenwertbildung interferometrischer Kohärenz (ERS-Tandem) stellte sich als geeignetes Mittel heraus, die Daten in drei Strukturklassen mit jeweils spezifisch aus ihnen berechneten Minnaert-Konstanten zu gruppieren. Dieser Stratifizierung liegt die Annahme zugrunde, dass der eindeutige Trend, welcher sich bei der Berechnung der Korrekturkonstanten aus verschiedenen Kohärenzklassen ergibt, durch den starken Zusammenhang der Kohärenz zu strukturorientierten Oberflächenparametern (Vegetationsdichte und -höhe) bedingt ist.

Generell sind jedoch auch andere Verfahren für die Stratifizierung denkbar, wie z. B. die Berechnung von Vegetationsindizes oder die Bildsegmentierung mit anschließender Bildung objektbezogener Korrekturfaktoren.

Durch Ableitung einer entsprechenden Regressionsgleichung ist des Weiteren die Herleitung von kontinuierlichen Minnaert-Konstanten aus Kohärenzdaten denkbar. Dies würde gleichzeitig die Problematik einer synthetischen Schwellenwertbildung lösen.

Danksagung

Diese Arbeit wurde durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) im Rahmen des SFB-552 (Stability of Rainforest Margins in Indonesia) gefördert.

Literatur

CHAVEZ, P.S., 1996: Image-based atmospheric corrections. Revisited and improved. – *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **62** (9): 1025–1036.

- COLBY, J. D., 1991: Topographic normalization in rugged terrain. – *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **57**: 531–537.
- HEROLD, M., MÜSCHEN, B., MÜLLER, A., KLENKE & M., STEINNOCHER, K., 2000: Zur radiometrischen Reliefkorrektur von Fernerkundungsdaten. – *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation*, **2000** (5): 347–354.
- MEYER, P., ITTEN, K. I., KELLENBERGER, J., SANDMEIER, S. & SANDMEIER, R., 1993: Radiometric correction of topographically induced effects on Landsat TM data in an alpine environment. – *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* **48**: 17–28.
- MINNAERT, M., 1941: The reciprocity principle in lunar photometry. – *Astrophysical Journal* **93**: 403–410.
- RIANO, D., CHUVIECO, E., SALAS, F. J. & AGUADO, I., 2003: Assessment of Different Topographic Corrections in Landsat-TM Data for Mapping Vegetation Types. – *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* **41**: 1056–1061.
- TEILLET, P. M., GUINDON, B. & GOODENOUGH, D. G., 1982: On the Slope-Aspect Correction of Multispectral Scanner Data. – *Canadian Journal of Remote Sensing* **8** (2): 84–106.
- TOKOLA, T., SARKEALA, J., & VAN DER LINDEN, M., 2001: Use of topographic correction in Landsat TM-based forest interpretation in Nepal. – *International Journal of Remote Sensing* **22** (4): 551–563.
- TWELE, A. & ERASMI, S., 2005: Evaluating topographic correction algorithms for improved land cover discrimination in mountainous areas of Central Sulawesi. – In: ERASMI, S., CYFFKA, B. & KAPPAS, M. (Hrsg.): *Remote Sensing & GIS for Environmental Studies: Applications in Geography*. – Göttinger Geographische Abhandlungen **113**: 289–297.

Anschrift der Autoren:

Dipl.-Geogr. ANDRÉ TWELE
Dr. STEFAN ERASMI
Georg-August Universität Göttingen
Geographisches Institut,
Abteilung Kartographie, GIS & Fernerkundung
Goldschmidtstraße 5, D-37077 Göttingen
Tel.: 0551-398015
e-mail: atwele@uni-goettingen.de
serasmi@uni-goettingen.de

Manuskript eingereicht: Januar 2005
Angenommen: März 2005

Kongruenz unterschiedlicher Informationsquellen zur Flächennutzung

MARTIN BACH, LUTZ BREUER, HANS-GEORG FREDE & JOHANN A. HUISMAN, Gießen

Keywords: remote sensing, ATKIS, CORINE land cover, conformity matrix, Landsat classification, land use model

Zusammenfassung: Für zahlreiche Modellanwendungen in den Geo- und Umweltwissenschaften sind digitale Daten zur räumlichen Verteilung der Flächennutzung bzw. Bodenbedeckung unverzichtbar. Dafür werden vielfach die Landnutzungsmodelle ATKIS, CORINE Land Cover (CLC) bzw. Landsat-TM-Klassifikationen herangezogen. Die Nutzer verfügen jedoch im Regelfall über keine Hinweise, in wieweit diese Datenquellen sachlich und räumlich deckungsgleich sind. Die Übereinstimmung der räumlichen Verteilung der Nutzungen zwischen den drei genannten Landnutzungsmodellen wird daher exemplarisch für ein Untersuchungsgebiet von 670 km² in Mittelhessen verglichen. Es werden die Nutzungskategorien Siedlung und Verkehr, Wald, Wasser, Ackerland, Grünland sowie Brachland (einschließlich sonstiger Nutzungen) unterschieden. Nach einzelnen Nutzungskategorien getrennt reicht die Spannbreite der Konformität von unter 1% bis 89%. Für die Nutzungen des Offenlands (Ackerland, Grünland, Brache) liegen die Kongruenzmaße im Regelfall deutlich unter den Werten für Waldflächen sowie Siedlung und Verkehr. Im CLC-Modell werden Nutzungen, die nur mit relativ geringen Anteilen bzw. stärker dispergiert in einer Region auftreten, umso mehr unterschätzt, je stärker die Flächenobjekte im Landnutzungsmodell aggregiert sind.

Summary: *Conformity of different land cover models.* For numerous model applications in the earth and environmental sciences, digital land cover data are indispensable as a source of information on the spatial distribution of the land use/land cover. Therefore the land cover data sets ATKIS, CORINE Land Cover (CLC), and Landsat-TM-classifications are widely used. However, the users of these data mostly do not have references to their quality. The conformity of the spatial distribution of the land use classes among the models for a study region of 670 km² in Hessen is analyzed. The land use categories urban and traffic areas, forest, water, arable land, grassland as well as fallow land (including other uses) are differentiated. For the individual land cover classes, the congruency is spread from < 1% to 89%. For the land cover classes of the open land (arable land, grassland, fallow) the congruency is lower than the congruency for forest, urban and traffic areas. Due to the higher aggregation of the objects, the CLC model tends to underestimate land use classes, that have relatively small coverage, or that are more strongly dispersed in the landscape.

1 Einleitung

Informationen über die Flächennutzung bzw. über die Bedeckung der Erdoberfläche bilden essenzielle Requisiten für zahllose Modellanwendungen in den unterschiedlichsten Wissenschaftsdisziplinen. Für GIS-gestützte Analysen und Modellierung von

Landschaftsfunktionen sind Kenntnisse über die Art und die räumliche Verteilung von Nutzungsformen bzw. über prozessrelevante Eigenschaften der Bodenbedeckung unabdingbar. Für alle Modellanwendungen im meso- und makroskaligen Bereich, das heißt ab einer gewissen Größe des Bearbeitungsgebietes, muss dabei regelmäßig auf

Geodaten zur Landnutzungsverteilung zurückgegriffen werden. Dafür stehen verschiedene digitale Landnutzungsmodelle als Datenquellen zur Verfügung (ausführliche Übersicht und Bewertung vgl. MEINEL & HENNERSDORF 2002):

- nationale digitale topographische Kartenwerke (in Deutschland z. B. ATKIS);
- die digitale Nutzungskarte des EU-Projekts „CORINE Land Cover“;
- Produkte aus dem Bereich der Fernerkundung wie beispielsweise Landnutzungs-klassifikationen basierend auf Satelliten-szenen.

Für praktische Anwendungen stellt sich die Frage, wie sich der Informationsgehalt der drei häufig verwendeten Landnutzungsmodelle ATKIS, CLC und Landsat-TM-Klassifikation sowohl im Vergleich untereinander als auch im Vergleich zu statistischen Flächennutzungsinformationen darstellt. Dazu wird im vorliegenden Beitrag die Kongruenz der drei Landnutzungsmodelle für ein größeres Untersuchungsgebiet untersucht sowie mit Angaben aus der Flächenerhebung und der Agrarstrukturerhebung (nur Landwirtschaftsfläche) verglichen. In einer zweiten Untersuchung (BACH et al. 2005) ist die Güte der drei aufgeführten Landnutzungsmodelle anhand der Ergebnisse einer Geländekartierung in drei Gemarkungen überprüft worden.

2 Daten und Methodik

Das *Untersuchungsgebiet* umfasst 14 Gemeinden mit insgesamt 669,91 km² (Abb. 1), deren Fläche annähernd deckungsgleich ist mit dem Einzugsgebiet der Dill (bis Pegel Aßlar). Die Untersuchungsregion zeichnet sich durch einen kleinräumigen Wechsel von Acker- und Grünlandflächen aus, zudem wird ein vergleichsweise hoher Anteil der Landwirtschaftsflächen als so genannte „Sozialbrache“ nicht mehr für die Agrarproduktion genutzt. Diese Charakteristika des Untersuchungsgebietes sind als typisch für zahlreiche Regionen in westdeutschen Mittelgebirgslandschaften anzusehen.

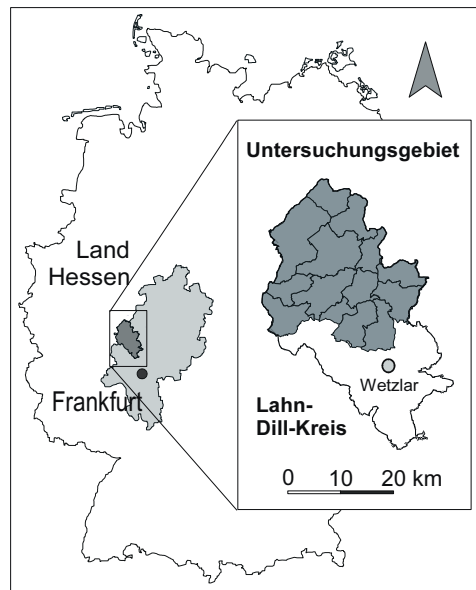


Abb. 1: Untersuchungsgebiet (14 Gemeinden im Lahn-Dill-Kreis, Hessen).

Für die Fläche des Untersuchungsgebietes standen die Daten der folgenden digitalen Landnutzungsmodelle zur Verfügung (ausführlichere Beschreibung s. BACH et al. 2005):

- ATKIS (Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem; AdV 2002), Datenbestand des Hessischen Landesvermessungsamts mit Stand vom 1. 1. 1998.
- CORINE Land Cover (CLC, COOrdination of INformation on the Environment; Statistisches Bundesamt 1997) im Bearbeitungsstand 1997.
- Landsat-5-TM-Klassifikation von NÖHLES (2000), Aufnahmejahre 1994/95; mit dem Schwerpunkt, das Offenland nach Ackerland, Grünland und so genannter Übergangsvegetation (d. h. verschiedene Sukzessionsstadien des Vegetationsaufwuchses auf Bracheflächen) zu differenzieren.

Datenaufbereitung: Die ATKIS- und CLC-Daten lagen im GIS ArcView[®]3.2 als Vektordaten (shape-Dateiformat) vor, die Landsat-5-Szenen waren als ERDAS IMA-

GINE^{®8} (img-Dateiformat) mit einer Pixelgröße von 25 m * 25 m aufbereitet. Für die Auswertung wurden alle Datenbestände in ArcView-Grid-Dateien mit 1 m * 1 m Rastergröße konvertiert und einheitlich georeferenziert.

Die unterschiedlichen Flächennutzungs- bzw. Bodenbedeckungsklassen, die in den drei Landnutzungsmodellen verwendet worden sind, wurden gemäß Tab. 1 parallelisiert und auf der höchsten Hierarchieebene einer der vier Nutzungskategorien ‚Siedlung und Verkehr‘, ‚Wald‘, ‚Offenland‘ oder ‚Wasser‘ zugeordnet. Die Parallelisierung

erfolgte dergestalt, dass gemäß Definition der jeweiligen Nutzungs- bzw. Bedeckungsklassen a priori die höchstmögliche Übereinstimmung zwischen den Modellen zu erwarten ist. Die drei Kategorien *Siedlung und Verkehr*, *Wald* sowie *Wasser* werden in den Klassifikationssystemen der drei Modelle weitgehend übereinstimmend definiert, so dass ihre Gleichstellung relativ unproblematisch ist. In der Kategorie *Offenland* werden dagegen vergleichsweise heterogene Nutzungen bzw. Bodenbedeckungen zusammengefasst. Zum einen gehören dazu die Landwirtschaftsflächen mit ihren verschie-

Tab. 1: Zusammenfassung (Parallelisierung) der Flächennutzungs- bzw. Bodenbedeckungsklassen der unterschiedlichen Klassifikationssysteme in sechs Nutzungskategorien^a.

Nutzungs-kategorie	ATKIS Objektart ^b	CLC-Klassen ^b	Landsat-5-Klassifikation (NÖHLES 2000)	Flächenerhebung Benennung
<i>Siedlung und Verkehr</i>	2xxx Siedlung 3xxx Verkehr	1.x.x Bebaute Flächen	„Siedlung“	„Siedlungs- u. Verkehrsfläche ges.“; „Betriebsfläche“; „Erholungsfläche“
<i>Wald</i>	4107 Wald, Forst 4108 Gehölz	3.1.x Wälder	„Laubwald“ „Nadelwald“	„Waldfläche“
<i>Wasserfläche</i>	51xx Wasserflächen	5.1.x Wasserflächen	„Gewässer“	„Wasserfläche“
<i>Offenland</i>	<i>Ackerland</i>	2.1.1 Ackerland 2.4.2 Komplexe Parzellenstrukturen 2.4.3 LF mit Fl. natürl. Bodenbedeckung.	„Ackerland“	„Ackerland“
	<i>Grünland</i>	2.3.x Grünland	„Grünland“	„Grünland“
	<i>Brachland (einschl. sonstige Nutzungen)</i>	2.2.x Dauerkulturen 2.4.1 Einj. Kulturen mit Dauerkulturen 3.2.x Strauch- und Krautvegetation 3.3.x Offene Flächen mit geringer Veg. 4.1.x Feuchttflächen	„Übergangsvegetation“	„Flächen anderer Nutzung (ohne Friedhofsfläche)“; „Abbauland“

^{a)} Aus Gründen der Übersichtlichkeit ist die Agrarstrukturerhebung mit ihren zwei Klassen „Ackerland“ und „Grünland“ in der Tabelle nicht mit aufgeführt.

^{b)} In der Tabelle nicht aufgeführte Objektarten bzw. Klassen sind im Untersuchungsgebiet nicht vertreten.

denen Nutzungsformen, i. e. *Ackerland* (einschließlich der Flächen mit sog. einjähriger konjunktureller Flächenstillegung), *Grünland* (Wiesen und Weiden), *Gartenland* und *Rebland* (im Untersuchungsgebiet nicht vertreten). Zum anderen fallen unter Offenland auch ehemalige Agrarflächen, die seit mehr oder weniger langer Zeit nicht mehr bewirtschaftet (gepflügt, gemäht oder beweidet) werden und auf denen sich eine Spontanvegetation etabliert hat, sowie alle übrigen naturbelassenen Flächen.

Weiterhin beinhaltet ‚Offenland‘ als Restgröße alle ‚Sonstigen Nutzungen‘, die im Regelfall mit geringen Flächenanteilen vertreten sind und in den Klassifikationssystemen der verschiedenen Informationsquellen üblicherweise nicht eindeutig einer der drei anderen Kategorien (Siedlung und Verkehr, Wald, Wasser) zuzuordnen sind. ‚Sonstige Nutzungen‘ bezeichnen im Untersuchungsgebiet unter anderem Flächen wie Militärgelände oder Deponien, die fast vollständig mit Vegetation bedeckt sind und deren Erscheinungsbild mit Kraut-, Busch- und niederwüchsigem Baumaufwuchs dem so genannten Brachland ähnelt. Für die Auswertungen ist die Kategorie Offenland nur in die drei Klassen ‚Ackerland‘, ‚Grünland‘ und ‚Brachland‘ unterteilt worden, wobei ‚Brachland‘ dann das genannte Spektrum von divergenten Nutzungs- bzw. Vegetationsformen umfasst.

Für die Ermittlung der Kongruenz wurden die Datenlayer der verschiedenen Landnutzungsmodelle mittels ArcView®-Extension *Geoprocessing*, Funktion *Intersect*, miteinander verschnitten und die Flächenanteile der Objekte mit gleicher Nutzung wurden ermittelt. Als Gütemaße zur Bewertung der Übereinstimmung zwischen den verschiedenen Landnutzungsmodellen wurden Konformitätstabellen (error matrices) sowie die Gütemaße Gesamtgenauigkeit (overall accuracy), Nutzergenauigkeit (user accuracy) und Cohen's kappa-Koeffizient nach CONGALTON (1991) und STEHMAN (1997) berechnet.

Weiterhin wurden die Flächennutzungsdaten von zwei statistischen Registern als Referenzwerte zur Beurteilung der Güte von

Flächensummen der Landnutzungsmodelle herangezogen (ausführliche Darstellung und Bewertung der statistischen Informationsquellen s. JÜRGENS 2000). Die Flächenangaben sind allerdings nicht verortet und werden nur auf Gemeindeebene aggregiert veröffentlicht:

- Flächenerhebung, Auswertung des Liegenschaftskatasters zur Nutzung der Flurstücke (hier: Bezugsjahr 1993; Hessisches Statistisches Landesamt 1995).
- Agrarstrukturerhebung (frühere Bezeichnung: Landwirtschaftszählung) mit Angaben zur landwirtschaftlichen Bodennutzung (Hessisches Statistisches Landesamt 1996).

Als Maske für die Gemeindegebiete diente die digitale Verwaltungsgrenzenkarte des BKG (2000) im Maßstab 1: 250 000.

3 Ergebnisse

Die Anteile der einzelnen Nutzungskategorien an der Gesamtfläche des Untersuchungsgebietes von rund 670 km² zeigen erhebliche Differenzen zwischen den verschiedenen Informationsquellen (Tab. 2). Die Anteile der *Siedlungs- und Verkehrsflächen* liegen in ATKIS, CLC und Landsat-5 mit Anteilen von 9,2%, 8,3% und 9,4% relativ dicht beieinander, während die Flächenerhebung 14,9% in dieser Kategorie ausweist. Für die *Waldflächen* werden in ATKIS 59,3% bestimmt, während die Angaben für das CLC-Modell mit 53,1% und Landsat-5 mit 54,9% um rund 5%-Punkte niedriger liegen; die Flächenerhebung sogar um 10%-Punkte. *Wasserflächen* sind im Untersuchungsgebiet insgesamt nur mit sehr geringen Anteilen vertreten, allerdings zeigen sich bei dieser Kategorie die größten relativen Abweichungen. Nach ATKIS sind 0,40% Wasserflächen, während CLC dafür nur 0,16% und Landsat-5 0,21% ausweisen. Der Anteil von 1,06% Wasserflächen nach Flächenerhebung ist im Vergleich dazu deutlich höher. Die Anteile von Offenland sind annähernd invers zum Waldanteil: die Offenlandfläche nach ATKIS ist mit 31,1% am geringsten, während nach Landsat-5

Tab. 2: Flächennutzung nach verschiedenen Landnutzungsmodellen und statistischen Angaben im Untersuchungsgebiet^{a)}.

Nutzung	Landnutzungsmodelle			Flächenstatistik	
	ATKIS	CLC	Landsat-5 (NÖHLES 2000)	Flächen- erhebung	Agrar- struktur- erhebung
	%	%	%	%	%
Siedlung und Verkehr	9,21	8,33	9,38	14,85	–
Wald	59,31	53,07	54,85	49,41	–
Wasserfläche	0,40	0,16	0,21	1,06	–
Offenland	31,08	38,44	35,56	34,67	–
davon: – <i>Ackerland</i>	7,67	16,79 ^b	6,53	15,04	3,63
– <i>Grünland</i>	23,07	21,40	19,17	19,29	11,84
– <i>Brachland</i>	0,33	0,25	9,85	0,33	–

^{a)} Basis: 14 Gemeinden im Einzugsgebiet der Dill, Gesamtfläche 669,91 km².

35,6% und nach CLC 38,4% der Flächen „Offenland“ sind. Mit 34,7% nennt die Flächenerhebung für diese Kategorie einen Anteil in ähnlicher Größenordnung wie die Landnutzungsmodelle.

Für *Grünland* liegen die Angaben der drei Geodatenmodelle und der Flächenerhebung mit Werten von 19,2% in Landsat-5 bis 23,1% in ATKIS noch relativ dicht beieinander. Gravierende Unterschiede treten dagegen beim Anteil des *Ackerlands* auf: nach ATKIS sind nur 7,7% bzw. nach Landsat-5 6,5% Ackerland im Dill-Einzugsgebiet vorhanden, nach CLC mit 16,8% jedoch mehr als die doppelte Fläche. Eine Ursache dafür ist unter anderem darin zu suchen, dass die CLC-Klasse Ackerland auch die CLC-Klassen 2.4.2 „Komplexe Parzellenstrukturen“ und 2.4.3 „Landwirtschaftlich genutztes Land mit Flächen natürlicher Bodenbedeckung von signifikanter Größe“ umfasst. Nach Flächenerhebung sind 15,1% Ackerland, wobei damit jedoch im Unterschied zu CLC ausschließlich Ackerflächen bezeichnet sind. Die unter *Brachland* zusammengefassten Nutzungen sind bei ATKIS und CLC sowie nach Flächenerhebung mit Anteilen von 0,33% resp. 0,25% nur marginal vertreten. Die Landsat-5-Klassifikation von NÖHLES (2000), deren Fokus auf der Identifikation von Brachlandflächen im Untersuchungsgebiet lag, kommt dagegen zu einem Ergebnis von fast

10% Brachflächen, was einen rund 30fach höheren Anteil gegenüber den drei anderen Informationsquellen bedeutet.

Für die Landwirtschaftsflächen kann, neben den drei bereits aufgeführten Datenquellen, zusätzlich die *Agrarstruktur-erhebung* ausgewertet werden. Dieser Erhebung zufolge werden im Untersuchungsgebiet nur noch 15,5% der Fläche landwirtschaftlich genutzt, gegenüber 34,3% nach Flächenerhebung und beispielsweise 30,7% nach ATKIS. Noch gravierender stellen sich die Unterschiede dar, wenn man die Landwirtschaftsfläche nach *Ackerland* und *Grünland* trennt. Nach Agrarstruktur-erhebung sind mit nur 3,6% im Vergleich zu ATKIS weniger als die Hälfte und verglichen mit der Flächenerhebung sogar weniger als ein Viertel an Ackerflächen im Einzugsgebiet der Dill vorhanden.

Bezogen auf eine Auswertung mit vier Hauptnutzungskategorien (Siedlung u. Verkehr, Wald, Offenland, Wasser) zeigen die Anteile identisch klassifizierter Nutzungen mit Werten zwischen 85,3% für den Vergleich ATKIS vs. Landsat-5 und 82,1% (CLC vs. Landsat-5) für das Einzugsgebiet der Dill nur geringe Unterschiede (Tab. 3). Für N = 6 Kategorien, i. e. das „Offenland“ in drei Klassen unterteilt (Ackerland, Grünland, Brachland), verschlechtern sich die Gütemaße deutlich. Die Vergleiche ATKIS vs. CLC und ATKIS vs. Landsat-5 führen

Tab. 3: Gütemaße der Übereinstimmung zwischen verschiedenen Landnutzungsmodellen im Untersuchungsgebiet.

Vergleich	N = 4 Kategorien ^a		N = 6 Kategorien ^b	
	Overall accuracy	kappa Koeffizient	Overall accuracy	kappa Koeffizient
ATKIS vs. CLC	0,842	0,717	0,756	0,603
ATKIS vs. Landsat-5	0,853	0,736	0,757	0,606
CLC vs. Landsat-5	0,821	0,682	0,686	0,516

^{a)} Siedlung und Verkehr, Wald, Offenland, Wasser

^{b)} Siedlung und Verkehr, Wald, Ackerland, Grünland, Brachland, Wasser

dann zu nahezu identischen Werten, die overall accuracy beträgt 75,6%. Für den Vergleich CLC vs. Landsat-5 ist der Rückgang der Gütemaße für N = 6 stärker ausgeprägt, die Gesamtübereinstimmung beträgt dann nur noch 68,6%, was vorrangig auf den mehr als doppelt so großen Anteil an Ackerland in CLC gegenüber ATKIS bzw. Landsat-5 zurückzuführen ist.

Die Konformitätstabellen zwischen jeweils zwei Landnutzungsmodellen (Tab. 4) zeigen die höchsten Übereinstimmungen mit Werten zwischen rund 89% und 85% für die Nutzungen Wald und Offenland, nur für CLC vs. Landsat-5 ist die Kongruenz der Offenland-Flächen mit 75% etwas niedriger. Die Übereinstimmungen der Siedlungs- und Verkehrsflächen nach ATKIS mit den beiden anderen Datenbeständen betragen etwa 75% und bei CLC vs. Landsat-5 noch ca. 69% für das gesamte Untersuchungsgebiet. Die niedrige Kongruenz der Nutzung „Wasser“ zwischen ATKIS und den beiden anderen Datenquellen ist vor-

Tab. 4: Übereinstimmung der Flächennutzung zwischen den drei Landnutzungsmodellen im Untersuchungsgebiet.

CLC	ATKIS (Referenz)				User accuracy
	Siedlung u. Verkehr	Wald	Offenland	Wasser	
Siedlung und Verkehr	0,686	0,013	0,038	0,140	0,760
Wald	0,042	0,847	0,078	0,119	0,946
Offenland	0,272	0,140	0,884	0,378	0,715
Wasser	0,000	0,000	0,000	0,363	0,001

Landsat-5	ATKIS (Referenz)				User accuracy
	Siedlung u. Verkehr	Wald	Offenland	Wasser	
Siedlung und Verkehr	0,753	0,018	0,039	0,150	0,746
Wald	0,048	0,866	0,097	0,230	0,936
Offenland	0,199	0,115	0,864	0,180	0,754
Wasser	0,000	0,000	0,000	0,439	0,019

Landsat-5	CLC (Referenz)				User accuracy
	Siedlung u. Verkehr	Wald	Offenland	Wasser	
Siedlung und Verkehr	0,736	0,012	0,068	0,024	0,654
Wald	0,080	0,887	0,185	0,061	0,858
Offenland	0,182	0,100	0,747	0,050	0,807
Wasser	0,002	0,000	0,001	0,865	0,088

rangig auf ihren mehr als doppelt so großen Flächenanteil in ATKIS zurückzuführen. Die Werte der user accuracy in Tab. 4 stellen kein Maß für die Klassifizierungsgüte dar, sondern bringen hier zum Ausdruck, in wie weit die Nutzungsverteilung eines Landnutzungsmodells (als Referenz gesetzt) durch das jeweils andere Modell repräsentiert wird.

4 Diskussion

Als zentrales Ergebnis ist festzuhalten, dass die drei Landnutzungsmodelle sich gegeneinander nur eingeschränkt substituieren können. Für einen Naturraum mit kleinstrukturierter Landschaft wie dem hier untersuchten Dill-Einzugsgebiet besteht bestenfalls eine Übereinstimmung der Nutzungen auf rund 85% der Fläche (mit $N = 4$ Kategorien). Vergrößert man die Zahl der Nutzungsklassen auf $N = 6$, dann beträgt die Kongruenz im günstigsten Fall sogar nur noch rund 76%. Für die Verwendung der digitalen Landnutzungsdaten als Eingangsgrößen in Modellanwendungen hat dies zur Konsequenz, dass offensichtlich mit stärkeren Divergenzen des Modellergebnisses gerechnet werden muss, wenn man eine Informationsquelle zur Landnutzung gegen eine andere austauscht. Umso erstaunlicher ist es, dass Entwickler und Anwender von Modellen aus ganz unterschiedlichen Bereichen zwar vielfach großen Wert auf die Bereitstellung möglichst exakter Eingabedaten zu verschiedenen Themen (z. B. Boden, Klima, Relief usw.) legen, sich über die Qualität und die inhärenten Fehler des jeweils verwendeten Landnutzungsmodells jedoch vergleichsweise wenig Gedanken machen und dessen Daten mehr oder weniger unkritisch verwenden (JANSEN 1998); Beispiele dafür in Bezug auf den Einsatz von CLC finden sich unter anderem bei MOHAUPT-JAHR (2004).

Die nicht unerheblichen Divergenzen, sowohl hinsichtlich der Nutzungsanteile als auch der Kongruenz der Nutzungsverteilung, zwischen den digitalen Landnutzungsmodellen, sind teilweise auf die Charakteristika der Modelle zurückzuführen; für verschiedene Effekte können die Autoren aller-

dings nach Stand der Kenntnis keine Hypothesen anbieten. In einem gewissen Umfang können die Unterschiede mit den abweichenden Erhebungsjahren der Datenbestände erklärt werden: CLC geht auf die Jahre 1989 bis 1992 zurück, die Landsat-5-Klassifikation von NÖHLES (2000) basiert auf Szenen aus 1994 und 1995, die Flächenerhebung nennt als Stichtag 31.12. 1993, und der Aktualisierungsstand der Nutzungen in ATKIS ist nicht dokumentiert. Für das gesamte Untersuchungsgebiet von rund 670 km² gibt es jedoch keine Hinweise, dass im Bereich der Offenlandnutzungen der Umfang der Flächen, die innerhalb weniger Jahre einen Nutzungswechsel erfahren haben, mehrere Prozent-Punkte erreicht hätte.

Die Ergebnisse zu den *Flächenkongruenzen* zwischen den drei Landnutzungsmodellen zeigen tendenziell etwas höhere Werte für ATKIS und Landsat-5 im Vergleich zu CLC. Die stärkere Generalisierung und Aggregation der Nutzungsverteilung im CLC-Modell führt offensichtlich zu gewissen Einbußen gegenüber den räumlich höher aufgelösten Modellen Landsat und ATKIS. Aufgrund der Erfassungsuntergrenze von 25 ha bzw. 100 Metern Breite ergeben sich Repräsentanzprobleme in CLC. Diese Probleme betreffen vor allem diejenigen Bodenbedeckungs- bzw. Nutzungsarten, die innerhalb einer Raumeinheit nur mit vergleichsweise geringen Flächenanteilen vertreten sind bzw. sich durch eine geringe spezifische Flächengröße auszeichnen. Insbesondere Bäche und Flüsse, die vorwiegend schmale lineare Landschaftselemente bilden, werden vom CLC-Modell daher erheblich munderfasst. Auch in einer Satellitenszene müssen Wasserflächen mindestens die Größe eines Pixels aufweisen, um in der Klassifikation als Wasser erkannt zu werden. Der vergleichsweise hohe Anteil von 1,06% Wasserflächen im Untersuchungsgebiet nach Flächenerhebung ist Ergebnis unterschiedlicher Definitionen. In den Landnutzungsmodellen werden nur Areale als „Wasser“ klassifiziert, die von einer freien Wasseroberfläche bedeckt sind. In der Flächenerhebung wird jedoch, dem Begriffsverständnis in der Wasserwirtschaft folgend, unter „Wasserfläche“

das gesamte Gewässerbett (bei bordvollem Abfluss) einschließlich der Uferböschungen verstanden.

Der niedrigere Waldanteil des CLC-Modells kann teilweise mit dessen stärkerer Generalisierung erklärt werden, wodurch isolierte Waldbeständen unterhalb der Mindesterfassungsgrenze von 25 Hektar im der umgebenden Nutzung (in der Regel Offenland) aufgehen. Ein weiteres CLC-Spezifikum sind die Mischkategorien 2.4.2 und 2.4.3, deren Bodenbedeckungsformen sich in vielen Fällen nicht eindeutig festlegen lassen, da hier der Charakter einer Landschaft hinsichtlich ihrer Bewirtschaftungsweise interpretiert wird und die Übergänge fließend sind. Ihrer Vegetationszusammensetzung nach sind diese Flächen überwiegend der „Übergangsvegetation“ nach Landsat-5-Klassifikation gleichzustellen.

Die vergleichsweise hohe Kongruenz der Landsat-5-Daten mit ATKIS ist auch mit der Methodik der hierarchischen Klassifikation zu erklären: in deren Verlauf hat NÖHLES (2000) die einzelnen Nutzungen sukzessive klassiert und nach jedem Schritt eine Klasse ausmaskiert, d. h. zu einem räumlich möglichst geschlossenen Objekt vereinigt. Dabei wurden darin eingeschlossene vereinzelte Pixel mit abweichenden Eigenschaften der Nutzungsklasse des gebildeten Objektes zugeschlagen.

Die größte absolute Diskrepanz zwischen Landnutzungsmodellen und statistischen Angaben betrifft allerdings die Agrarstrukturerhebung, die weniger als die Hälfte an Landwirtschaftsfläche ausweist als alle anderen Informationsquellen. Zu einem kleineren Teil ist diese Unterschätzung methodisch bedingt: in der Agrarstrukturerhebung werden nur die Landwirtschaftsbetriebe mit mehr als 2 Hektar (bis 1999: > 1 ha) Betriebsfläche erfasst, so dass die Flächen der Kleinstbetriebe nicht gezählt werden. Aus früheren Erhebungen ist jedoch bekannt, dass der Flächenbeitrag dieser Kleinstbetriebe höchstens ein Zehntel der gesamten Landwirtschaftsfläche im Untersuchungsgebiet betrug. Weiterhin kann aufgrund der Erhebung nach dem so genannten ‚Betriebsprinzip‘ in der Agrarstrukturerhebung

(im Unterschied zum ‚Belegenheitsprinzip‘ der Flächenerhebung und den Modellen; vgl. MEINEL & HENNERSDORF 2002) eine gewisse Unterfassung von Flächen auftreten; für das gesamte Untersuchungsgebiet ist aber dadurch höchstens ein (relativer) Fehler von wenigen Prozent zu erwarten. Für die dargestellte Diskrepanz zwischen Agrarstrukturerhebung und den übrigen Datenquellen kann von den Autoren somit keine plausible Hypothese angeführt werden; eine Anfrage beim Statistischen Landesamt erbrachte keine Hinweise.

Als Fazit ist festzuhalten, dass die untersuchten Informationsquellen nur mit größeren Einschränkungen substituiert werden können. Als Folge der unterschiedlichen Erhebungsmethodiken und Aufgabenstellungen weist offensichtlich jeder Datenbestand spezifische Probleme auf, die seine Verwendbarkeit beispielsweise als Eingabedaten für Modellanwendungen begrenzen. Angesichts der Divergenzen der Modelle sowohl untereinander als auch zur Realnutzung (vgl. BACH et al. 2005) ist den Nutzern von Landnutzungsmodellen anzuraten, *jede* der hier verglichenen Datenquellen zur Landnutzung bzw. Bodenbedeckung zunächst kritisch zu überprüfen und sich der inhärenten Fehler und Unsicherheiten bewusst zu sein.

Danksagung

Dem Hessischen Landesvermessungsamt ist für Bereitstellung der ATKIS-Daten und den fachlichen Austausch zu danken. Herr JUKKA HÖHN hat freundlicherweise die GIS-Auswertungen durchgeführt.

Literatur

- AdV (Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen in der Bundesrepublik Deutschland), 2002: ATKIS – Amtliches topographisch-kartographisches Informationssystem. – Landesvermessungsamt Nordrhein-Westfalen [<http://www.atkis.de/>].
- BACH, M., HIETEL, E., FREDE H.G. & WALDHARDT, R., 2005: Überprüfung der Landnutzungsmodelle ATKIS, CORINE Land Cover und Landsat-Klassifikation anhand Feldkar-

- tierungen. – *Photogrammetrie • Fernerkundung • Geoinformation* 2005 (1) 135–145.
- BKG, 2000: Vektordaten Verwaltungsgrenzen (Gemeinden) 1: 250 000 (VG250). – Bundesamt für Kartografie und Geodäsie, Frankfurt a.M. [http://www.ifag.de/Kartographie/Produkte/Vektor/f_vek2.htm].
- CONGALTON, R.G., 1991: A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. – *Remote Sensing Environment* 37 (1): 35–46.
- Hessisches Statistisches Landesamt, 1995: Flächenerhebung; Tatsächliche Nutzung (C I 1/S-1). – Hessisches Statistisches Landesamt, Wiesbaden.
- Hessisches Statistisches Landesamt, 1996: Landwirtschaftszählung 1995; Betriebsgrößen, Bodennutzung, Viehhaltung (C IV 9-G). – Hessisches Statistisches Landesamt, Wiesbaden.
- JANSEN, M.J.W., 1998: Prediction error through modelling concepts and uncertainty from basic data. – *Nutrient Cycling Agroecosystems* 50: 247–253.
- JÜRGENS, C., 2000: Change Detection – Erfahrungen bei vergleichenden multitemporalen Satellitenbilddauswertung in Mitteleuropa. – *Photogrammetrie • Fernerkundung • Geoinformation* 2000 (1): 5–18.
- MEINEL, G. & HENNERSDORF, J., 2002: Erhebungsmethoden, Programme und Nomenklaturen der Flächenbedeckung und Flächennutzung. – *Photogrammetrie • Fernerkundung • Geoinformation* 2002 (4): 271–286.
- MOHAUPT-JAHR, B.(ed.), 2004: CORINE Land Cover 2000 in Germany and Europe and its use for Environmental Applications (Proceedings of a workshop 20–21 January 2004, Berlin). – UBA-Texte 04/04, Umweltbundesamt, 274 S., Berlin.
- NÖHLES, I., 2000: Landnutzungsklassifikation mit multitemporalen Landsat TM-Szenen in einer kleinstrukturierten Agrarregion. – *Boden u. Landschaft* 32, 173. S, Giessen (Diss. Univ. Giessen).
- Statistisches Bundesamt, 1997: Daten zur Bodenbedeckung für Deutschland (CORINE Land Cover). – Statistisches Bundesamt, Wiesbaden [2 CD-ROM] [<http://www.destatis.de/stabis/start.htm>].
- STEHMAN, S.V., 1997: Selecting and interpreting measures of thematic classification accuracy. – *Remote Sensing Environment* 62 (1): 77–89.

Anschrift der Autoren:

Dr. MARTIN BACH, Dr. LUTZ BREUER,
Prof. Dr. HANS-GEORG FREDE,
Dr. JOHANN A. HUISMAN
Justus-Liebig-Universität Gießen
Institut für Landschaftsökologie und
Ressourcenmanagement
Heinrich Buff-Ring 26–32, D-35392 Gießen
Tel.: 0641-99-37375
e-mail: martin.bach@agrar.uni-giessen.de

Manuskript eingereicht: August 2004
Angenommen: November 2004

Berichte

4. Oldenburger 3D-Tage: Optische 3D-Messtechnik – Photogrammetrie – Laser-Scanning

am 2. und 3. Februar 2005

Zum vierten Mal luden das Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik (IAPG), das Institut für Mess- und Auswertetechnik (IMA) der Fachhochschule Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelmshaven sowie die Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) Anfang Februar zu einem zweitägigen Workshop mit den Themen Optische 3D-Messtechnik, Photogrammetrie und Laser-Scanning in die Fachhochschule Oldenburg ein.

Die Schwerpunkte der diesjährigen Tagung lagen auf den Aspekten: hybride Messsysteme, Navigation von Sensoren, dynamische Prozesse, Modellextraktion aus 3D-Punktwolken, Mustererkennung, Qualitätsmanagement sowie Wirtschaftlichkeit. Rund 200 Teilnehmer aus dem gesamten Bundesgebiet sowie aus weiteren sechs Nationen waren nach Oldenburg gekommen. Darunter befanden sich vorwiegend Hochschulvertreter, aber auch zahlreiche Hersteller, Dienstleister und Anwender. Begleitend zur Tagung bot eine Ausstellung mit ca. 20 Ständen namhafter Firmen den Besuchern Gelegenheit, sich über aktuelle Geräte- und Softwareentwicklungen sowie über das Leistungsspektrum einiger Dienstleister im Bereich der optischen 3D-Messtechnik zu informieren.

Eingeleitet wurde die Tagung durch Grußworte des Direktors des IAPG Prof. Dr. THOMAS LUHMANN sowie der Präsidentin der Fachhochschule OOW Prof. Dr. ANNE FRIEDRICHS. Anschließend sprach die Bundestagsabgeordnete und ehemalige Präsidentin der FH Oldenburg VERA DOMINKE, die die Gelegenheit nutzte, um sich als Mitglied des Ausschusses für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung im Rahmen einer Hochschulveranstaltung zum

aktuellen, bildungspolitischen Thema Studiengebühren zu äußern.

Prof. Dr. HANS-GERD MAAS (TU Dresden) griff in seinem Eröffnungsvortrag ein Schwerpunktthema auf und ging auf die *Werkzeuge und Anwendungen der photogrammetrischen Bewegungsanalyse* ein. Folgerichtig schloss sich daran die erste Sitzung unter dem Titel *Dynamische Prozesse* an. Zunächst referierte KARSTEN RAGUSE (Volkswagen AG, Wolfsburg) über die Problematik der *Asynchronitäten von photogrammetrischen Bildsequenzen* und stellte einen Lösungsansatz vor. ROBERT W. KUHN (Universität Magdeburg) gab interessante Einblicke in seine Forschungsergebnisse bezüglich eines *echtzeitfähigen Multipositionssensors für ein Fahrzeugassistenzsystem*. CHRISTIAN MULSOW (TU Dresden) und THORSTEN BOTHE (bias, Bremen) stellten *optische Messsysteme und Prinzipien zur Erfassung von Flüssigkeitsoberflächen und deren Bewegung* vor.

In der Sitzung *Qualität und Kalibrierung* wurden Genauigkeitspotenziale sowie Kalibrierverfahren eines breiten Spektrums von Messsystemen beleuchtet. So wurde zunächst das *Messverhalten eines terrestrischen Laserscanners* der Firma MENSI in Abhängigkeit von der Oberflächenbeschaffenheit und der Form des Messobjektes untersucht (Prof. Dr. H. STERNBERG, HAW Hamburg). Des Weiteren wurden *Kalibrierverfahren für sowohl 3D-Mikromessmethoden* (M. RITTER, Heinrich-Pette-Institut, Hamburg) als auch *Computertomographische Messsysteme* vorgestellt (M. SCHULZE, TU Dresden). DANILO SCHNEIDER (TU Dresden) präsentierte darüber hinaus Untersuchungsergebnisse hinsichtlich des *Genauigkeits- und Einsatzpotenzials eines Macro-Scanning-Systems*.

Die Sitzung *Laserscanning* ging auf vielschichtige Anwendungsbeispiele des terrestrischen Laserscannings ein. So konnten der Felsmonolith „Lange Anna“ auf Helgoland (M. LINDSTAEDT, HAW Hamburg), die

Ringwallanlage Willenscharen (CH. HÖNNIGER, HAW Hamburg) sowie ein Dinosaurierskelett (St. STOINSKI, TU Berlin) durch dieses Messverfahren erfasst und dreidimensional modelliert werden. Prof. Dr. HEINZ-JÜRGEN PRZYBILLA (Universität Duisburg-Essen) setzte sich kritisch mit dem *Laserscanning* auseinander, indem er die Aspekte örtliche Aufnahme, Datenqualität sowie die Auswertung der Punktwolken am Beispiel eines Laserscanners der Firma Zoller + Fröhlich näher betrachtete.

Zahlreiche Vorträge zum Themenkomplex *Photogrammetrie* befassten sich sowohl mit theoretischen Überlegungen als auch den vielseitigen Anwendungsmöglichkeiten. ANDREAS MARBS (FH Mainz) präsentierte ein projektiertes, photogrammetrisches Messkonzept, das in einer aktivierten Teilchenbeschleunigeranlage zu realisieren ist. Dr. MANFRED WIGGENHAGEN (Universität Hannover) stellte die Übertragung geodätischer *Auswerte- und Ausgleichsmethoden* auf die photogrammetrische Bündelblockausgleichung zur Optimierung der Kalibrierparameterschätzung zur Diskussion. Dr. Dr. WILFRIED LINDER (Universität Düsseldorf) präsentierte einen Ansatz zur *Kalibrierung handelsüblicher Digitalkameras* für Anwendungen mit geringen Genauigkeitsanforderungen. Ein Beispiel für die Anwendungen der Photogrammetrie in der Automobilindustrie lieferte IVONNE MEYER (AICON 3D Systems GmbH, Braunschweig), indem sie darlegte, wie ein photogrammetrisches Projektionsverfahren zur Verbesserung und Vereinfachung von *Testprozeduren zur Feststellung der Fahrzeugsicherheit* beitragen kann. Prof. THOMAS LUHMANN verglich anhand der Dokumentation eines Wandmosaiks eine *hoch auflösende Digitalkamera mit einer Panoramakamera*. Auf die Mosaikbildung in der *Architekturphotogrammetrie* sowohl in geometrischer als auch radiometrischer Hinsicht ging ALBERT WIEDEMANN (FPK Ingenieur GmbH, Berlin) ein. Schließlich demonstrierte RALF BECKER (RWTH Aachen) anschaulich die Vorteile der *Kombination von Photogrammetrie mit Laserscanning*.

Im *Herstellerforum* wurde hauptsächlich auf neue Systeme und Konzepte im Bereich Laserscanning eingegangen. So konnten sich die Besucher einen Überblick über die Hard- bzw. Software-Produktpalette der Firmen Leica Geosystems, Trimble/MENSI (vertreten durch 3D Laser Systeme, Wunstorf), Zoller + Fröhlich GmbH, Konica Minolta Photo Imaging Europe GmbH, Duwe-3D AG sowie Optech Inc. (vertreten durch TopScan GmbH, Rheine) verschaffen. Entsprechend ihrem Laserscannersystem demonstrierte die Firma RIEGL Laser Measurement GmbH die Zusammenführung von Laserscanning-Daten und photogrammetrischen Daten. Letztere können sowohl terrestrisch als auch flugzeuggetragen gewonnen werden. Die Firma iQvolution stellte ihr alternatives, erfolgorientiertes Finanzierungskonzept für ihre modular aufgebauten Laserscanning-Systeme vor. Die kubit GmbH präsentierte eine Software-Lösung zur Laserscanner-Datenauswertung auf AutoCAD-Basis.

Innerhalb des Themenkomplexes *Sensoren* wurde zum einen auf die rasante Entwicklung in der *digitalen Fotografie* mit besonderem Augenmerk auf photogrammetrische Bedürfnisse eingegangen (J. PEIPE, Universität der Bundeswehr München). Zum anderen wurden *neue Sensoren bzw. Sensor-konfigurationen* vorgestellt. TIMO KAHLMANN (ETH Zürich) referierte über die spezifische Eigenschaften und Einsatzmöglichkeiten des SwissRangers, einer neuartigen *distanzmessenden Kamera*. TORSTEN PUTZE (TU Dresden) demonstrierte, wie durch ein verstellbares Spiegelsystem ein *virtuelles Vier-Kamerasystem* modelliert werden kann und ging auch auf dessen Kalibrierung ein. Auf Basis eines Roboters realisierte HUBERT KAMMER (3D Alliance, Bischoffen) ein *inline-fähiges, präzises optisches 3D-Messsystem*. Einen spannenden Vortrag hielt Prof. Dr. KLAUS BOBEY (FH Hildesheim/Holzminen/Göttingen), indem er sehr anschaulich die *CMOS-Bildsensoren den CCD-Bildsensoren* gegenüberstellte, und somit Vor- und Nachteile der jeweiligen Technik dem Zuhörer offensichtlich wurden. BORIS JUTZI (Forschungsinstitut für Optronik und Mus-

tererkennung, Ettlingen) zeigte im Bereich Laserscanning erweiterte Interpretationsmöglichkeiten, die sich durch die *Erfassung und Analyse des zeitlichen Signalverlaufs der reflektierten Laserstrahlung* ergeben können. Der Sensorfusion von Augmented-Reality-Komponenten für *Anwendungen in der Medizin* widmete sich TIM SUTHAU (TU Berlin). ANDREAS FISLER berichtete über Untersuchungsergebnisse bezüglich der *Kalibrierung von Miniaturkameras*, wie sie immer öfter in Mobiltelefonen oder PDAs zu finden sind und für Anwendungen mit geringen Genauigkeitsansprüchen durchaus hilfreiche Dienste leisten können.

Die Präsentationen der Sitzung *Algorithmen und Auswertestrategien* widmeten sich mehrheitlich der Verarbeitung von Laserscanning-Daten. So wurden Ansätze und Algorithmen zur Verschmelzung (B. KLEIN, TU Darmstadt) und Strukturierung (T. PFLIEGNER, kubit GmbH, Dresden; in Vertretung für O. BRINGMANN) von Laserscanning-Punktwolken vorgestellt. GABI UNTEREGGER (FH München) referierte über einen *robusten Filteransatz mit finiten Elementen zur DGM-Erzeugung für luftgestützte Laserscanning-Daten*. Des Weiteren konnten sich die Zuhörer vom Potenzial der *Kombination bildgebender Sensoren mit Verfahren der künstlichen Intelligenz zur Automatisierung von Messprozessen* überzeugen (Dr. A. REITERER, TU Wien).

Ein gemeinsames traditionelles Grünkohlessen am Abend des ersten Veranstaltungstages gab Gelegenheit für vertiefende

Gespräche. Prof. THOMAS LUHMANN sorgte durch heitere Gesangsbeiträge mit Gitarrenbegleitung für eine stimmungsvolle musikalische Abrundung des Abends.

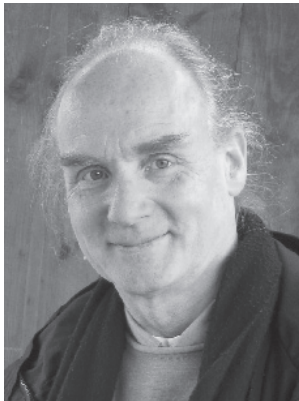
Seit den ersten Oldenburger 3D-Tagen im Jahr 2002 sind die Besucherzahlen kontinuierlich angestiegen. Diese Tatsache ist ein Indiz für die hohe Wertschätzung und Akzeptanz, die dem jährlich stattfindenden Workshop in Fachkreisen zuteil wird. Vertreter aus der Forschung, Systemanbieter und Anwender fanden auch in diesem Jahr eine adäquate Informationsplattform zum Erfahrungsaustausch sowie zur Präsentation aktueller Entwicklungen und Forschungsergebnisse einerseits und spezieller Methoden und Lösungskonzepte andererseits.

Ein großes Lob für die perfekte Vorbereitung und Organisation muss den engagierten Mitarbeitern der veranstaltenden Institute ausgesprochen werden, vor allem Frau CHRISTINA MÜLLER und Frau BARBARA WILLE. Neben der tadellosen Bewirtung wurde auch an kleine Extras gedacht. So bot beispielsweise eine Audio- und Videoübertragung der Vorträge den Teilnehmern die Möglichkeit, auch im Aufenthaltsraum den Präsentationen und anschließenden Diskussionen zu folgen.

Ein Tagungsband mit den Beiträgen der Referenten ist in Vorbereitung und wird voraussichtlich im April 2005 erscheinen.

BIANCA KLEIN, Darmstadt

**Internationale Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung, Kommission III:
Photogrammetrische Computer Vision und Bildanalyse**
(Photogrammetric Computer Vision and Image Analysis)



Präsident (2004–2008):

Prof. Dr. **WOLFGANG FÖRSTNER**

Universität Bonn, Institut für Photogrammetrie, Nussallee 15, D-53115 Bonn, Tel.: +49-228-732 713, Fax: +49-228-732 712, e-mail: wf@ipb.uni-bonn.de
<http://www.ipb.uni-bonn.de/>

Vizepräsident: Prof. Dr. **HELMUT MAYER**, München, e-mail:

Helmut.Mayer@UniBw-Muenchen.de

Sekretär: Dr.-Ing. **KARL-HEIKO ELLENBECK**, Bonn, e-mail: ellenbeck@uni-bonn.de

Aufgaben und Ziele der Kommission III für 2004–2008:

Das Ziel der Arbeiten ist *der Entwurf, die Entwicklung und die Bewertung mathematischer Modelle und Methoden für die automatische*

- Orientierung und Kalibrierung von Bildern,
- Oberflächenrekonstruktion,

- Fusion von multi-modalen Daten,
- Verarbeitung und Interpretation von Laserdaten,
- Interpretation von Bildern und Bildsequenzen mit besonderem Gewicht auf die Integration von Geometrie, Statistik und Semantik,
- Modellierung raum-zeitlicher Phänomene,
- Modellierung von Kontext,
- Untersuchung des Maßstabsverhaltens von bildbezogenen Modellen,
- Verwendung von Graphischen Modellen, speziell Markoff-Feldern und Bayesnetzen.

Die Arbeit soll die Verbindungen zu den Bereichen Computer Vision und Mustererkennung stärken, insbesondere anerkannte Kollegen in die Arbeitsgruppen integrieren. Der guten Tradition unserer wissenschaftlichen Arbeit folgend, sollten auch in Zukunft vergleichende Tests eines der wesentlichen Mittel sein das Feld voran zu bringen und den Kontakt mit den Wissenschaftlern aus den Nachbardisziplinen zu realisieren.

In der Zwischenzeit haben sich sechs Arbeitsgruppen gebildet. Vier Gruppen davon haben Arbeitsgruppenleiter aus dem Bereich Computer Vision. In einer intensiven und offenen Diskussion wurden die Ziele der AG festgelegt. Alle AGs planen für dieses Jahr eine Veranstaltung mit doppelt blindem Beurteilungsprozess. Die meisten dieser Veranstaltungen liegen vor oder nach Konferenzen für Computer Vision oder Mustererkennung.

- **WG III/1: Automatic Calibration and Orientation of Optical Sensors**

Chair: CAMILLO RESSL (Austria)

Co-Chair: PETER STURM (France)

Co-Chair: ILKKA NIINI (Finland)

Das Hauptziel der Arbeitsgruppe WG

III/1 ist die Entwicklung und Untersuchung vollautomatischer Verfahren zur Orientierung und Kalibrierung ohne Objektmarken. Dabei geht es um die Anwendbarkeit und die Robustheit der Verfahren und die sich daraus ergebenden Verfeinerungen der Verfahren. Die WG III/1 wird dazu Daten für einen vergleichenden Test zur Verfügung stellen.

- WG III/2: *Surface Reconstruction*; Chair: OLAF HELLWICH (Berlin)

Co-Chair: DANIEL SCHARSTEIN (USA)

Die WG III/2 wird die mehr oder weniger vollautomatischen Verfahren zur Oberflächenrekonstruktion untersuchen und vorantreiben. Die gegenwärtig verfügbaren Verfahren sollen ebenfalls mit Hilfe kontrollierter Tests bezüglich ihrer Anwendbarkeit, Zuverlässigkeit und Leistungsfähigkeit beurteilt werden.

Die beiden Arbeitsgruppen WG III/1 und WG III/2 haben den gemeinsamen ‘*BENCOS Workshop*’: Towards Benchmarking Automated Calibration, Orientation and Surface Reconstruction from Images’ in Verbindung mit der Internationalen Konferenz Computer Vision, 15./16. Oktober, 2005, in Peking vorbereitet (http://www.ipf.tuwien.ac.at/isprs/wgiii1/ws2005_wg12.html).

- WG III/3: *Processing of Point Clouds from Laser Scanners and other Sensors*.

Chair: GEORGE VOSSELMAN (The Netherlands),

Co-Chair: CLAUS BRENNER (Stuttgart)

Co-Chair: JUHA HYYPPÄ (Finland)

Das Ziel der WG III/3 ist die Analyse von dreidimensionalen Punktfeldern aus Laserdaten oder aus Stereobildern als Basis für die Oberflächen- und Objektrekonstruktion. U. a. geht es auch um die automatische und halb-automatische Objekterfassung aus verschiedenartigen Datenquellen (terrestrische und flugzeuggetragene Laserdaten, RGB-Bilddaten, NIR und andere). Die Arbeitsgruppe arbeitet eng mit der WG V/3 “Surface and object reconstruction from terrestrial laser scanners” zusammen.

Die Arbeitsgruppe WG III/3 organisiert den ISPRS Workshop ‘**Laser scanning 2005**’, 12.–14. September, 2005 in Enschede, Niederlande; <http://www.commission3.isprs.org/wg3/>).

- Working group III/4: *Automatic Image Interpretation for City-Modeling*.

Chair: FRANZ ROTTENSTEINER (Australia)

Co-Chair: THEO MOONS (Belgium)

Co-Chair: NORBERT HAALA (Stuttgart)

Das Ziel der Arbeitsgruppe WG III/4 ist die Entwicklung und die Analyse von Methoden zur automatischen und effizienten Generierung von 3D-Stadtmodellen, vor allem die Erfassung von Gebäuden und Vegetation. Wesentliche Probleme sind die Integration der verschiedenen Datenquellen, wie Laserdaten, Bilddaten, SAR, die Entwicklung von halb-automatischen Verfahren zur Generierung von Stadtmodellen verschiedener Auflösungen (level of detail LOD) und die Bewertung dieser Verfahren.

- WG III/5: *Models and Algorithms for Road Extraction and Traffic Monitoring*.

Chair: UWE STILLA (München)

Co-Chair: CHUNSUN ZHANG (Australia)

Die WG III/5 behandelt die Entwicklung, Realisierung und Bewertung von Verfahren zur Erfassung von Straßen und Straßennetzen. Spezielles Interesse gilt der Modellierung und Erfassung von Straßenkreuzungen und von Straßenattributen und der Entwicklung von Verfahren zur Detektion und Geschwindigkeitsmessung von Fahrzeugen für die Beobachtung des Verkehrs.

Die WG III/4 und III/5 organisieren den von der ISPRS und der Deutschen Arbeitsgemeinschaft für Mustererkennung (DAGM) getragenen Workshop über „Object Extraction for 3D City Models, Road Databases and Traffic Monitoring“ (CMRT05), 29.–30. August 2005 in Wien, Österreich, <http://www.gmat.unsw.edu.au/wgiii4/ws05>

- Intercommission Working group IC WG III/1: *Image Sequence*

Chair: MARC POLLEFEYS (USA)

Co-Chair: DAVID NISTER (USA)

Die IC WG III/1, die den Kommissionen III und V zugeordnet ist, behandelt wissenschaftlich eine Reihe von Fragestellungen im Bereich der Bildfolgeanalyse: Objektverfolgung, Bestimmung der Eigenbewegung, Objekt- und Ereigniserfassung aus Mono- und Stereo-Bildfolgen und die Kalibrierung von Sensornetzen insbesondere mit Nicht-Standardkameras.

Die Arbeitsgruppe ist bei der Organisation des Workshops ‘Omnidirectional Vision, Camera Networks and Non-Classical Cameras’, 21. Oktober 2005, beteiligt, die in

Verbindung mit der Internationalen Konferenz Computer Vision in Peking (<http://research.microsoft.com/iccv2005/>) stattfindet.

Das nächste **Symposium der ISPRS-Kommission III: ‘Photogrammetric Computer Vision 2006’** wird in der Woche vom **18. bis 22. September 2006 in Bonn** stattfinden.

Die homepage der Kommission III ist zu finden unter: http://www.isprs.org/technical_commissions/tc_3.html und <http://www.commission3.isprs.org>

WOLFGANG FÖRSTNER, Bonn

Internationale Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung, Kommission V: Datenakquisition und -analyse in der Nahbereichsphotogrammetrie (Close-Range Sensing – Analysis and Applications)



Präsident (2004–2008):
Prof. Dr. **HANS-GERD MAAS**
Technische Universität Dresden, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung
Helmholtzstr. 10, Hülse-Bau, Westflügel,
D-01062 Dresden, Tel.: +49-351-463-336
80, Fax: +49-351-463-37266
e-mail: hmaas@rcs1.urz.tu-dresden.de

Die Kommission V der ISPRS wird für den Zeitraum 2004–2008 durch die DGPF getragen. Zum Kommissionspräsidenten wurde Prof. Dr. sc. techn. habil. **HANS-GERD MAAS**, Direktor des Instituts für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU Dresden ernannt, Kommissionssekretär ist Dipl.-Ing. **DANILO SCHNEIDER**.

Kommission V, die sich traditionell mit der *Nahbereichsphotogrammetrie* beschäftigt, hat der Photogrammetrie im Laufe der letzten etwa 15 Jahre vielfältige neue Anwendungsbereiche erschlossen. Ein zentraler Forschungsgegenstand ist die Integration von Sensortechnologie und Werkzeugen der Bildanalyse zu hochintegrierten automatischen Messsystemen. In vielen Fällen initialisierten erfolgreiche Hochschulprojekte die Entwicklung marktreifer Produkte für die Lösung spezifischer Messaufgaben und eröffneten damit neue Märkte und Betätigungsfelder für Photogrammeter. Kommission V hat dabei immer auch einen Treffpunkt für Photogrammeter und Nicht-Photogrammeter dargestellt – wissend, dass genau genommen jeder, der sich mit der Ex-

traktion quantitativer Information aus Bilddaten beschäftigt, als Photogrammeter zu bezeichnen ist.

Aktuelle Arbeitsgebiete für Kommission V finden sich beispielsweise in *industriellen Design- und Produktionsprozessen* sowie in der *industriellen Qualitätskontrolle*. Hier wurden aufwendige aufgabenspezifische Speziallösungen entwickelt, welche als automatische Messsysteme Genauigkeiten im Bereich von 1:100'000 der Objektdimension und Zuverlässigkeiten jenseits von 99,9% erzielen. Auf der Kombination von Kameras und Projektoren basierende aktive Systeme erlauben Oberflächenmessungen mit Datenraten von mehr als einer Million 3D-Punkten pro Sekunde.

Laserscanner werden in der industriellen Messtechnik bereits seit ca. 20 Jahren eingesetzt. Das Aufkommen terrestrischer Laserscanner mit Reichweiten bis zu mehreren hundert Metern und Datenraten im Bereich von 10 kHz und mehr eröffnen auch den traditionellen Anwendungen der Nahbereichsphotogrammetrie in der Gebäudeaufnahme eine neue Dimension. Sie eröffnen gleichzeitig neue Märkte beispielsweise im Gebäudemanagement. Laserscanner und Laserscannerdaten können als Bindeglied angesehen werden zwischen der Photogrammetrie und der Ingenieurgeodäsie: Die Instrumentenkonzepte ähneln häufig denen geodätischer Instrumente, während bei der automatischen Verarbeitung von Punktwolken auf Prinzipien der photogrammetrischen Bildanalyse zurückgegriffen wird. Die Fusion von Laserscannerdaten mit hochauflösenden Bilddaten unter konsequenter Ausnutzung der komplementären Eigenschaften beider Datenarten stellt ein weiteres interessantes Forschungsgebiet dar.

Eine Reihe von Anwendungen und Forschungsarbeiten der Photogrammetrie beschäftigen sich mit der Akquisition von Daten für *Anwendungen in der virtuellen Realität (VR)*. Neben der Generierung texturierter dreidimensionaler Objektmodelle öffnet die Auswertung multi-okularer Bildsequenzen die vierte Dimension mit vielfältigen Anwendungen in der 3D-Bewegungsanalyse. Bildsequenzanalyse und Sensorfu-

sion leisten auch wichtige Beiträge im Bereich Mobile Mapping (mobile GIS-Datenakquisition) und in der autonomen Robotik. Darüber hinaus ergibt sich durch die Fusion und Kombination von geodätischer und photogrammetrischer Sensorik, Datenverarbeitung, CAD, GIS und VR das vergleichsweise junge Gebiet der *Augmented Reality* (Erweiterung der realen Sicht eines Anwenders um digitale kontextabhängige Informationen z. B. über eine Datenbrille) mit vielfältigen Anwendungen bis hinein in Alltagsprobleme.

Neben den industriellen Anwendungen der Photogrammetrie kann die *medizinische Bildverarbeitung* und -analyse als ein Wachstumsmarkt der Photogrammetrie angesehen werden. Neue Anwendungsgebiete finden sich auch in der Biometrie, wo photogrammetrische Techniken in Anwendungsbereichen vom Forstwesen bis hin zur Mikroskopie genutzt werden.

Die genannten Arbeitsgebiete deckt Kommission V mit sechs Arbeitsgruppen sowie drei zusätzlichen interkommissionären Arbeitsgruppen ab:

- WG V/1: Industrial vision metrology systems and applications (THOMAS LUHMANN, FRANK VAN DEN HEUVEL).
- WG V/2: Cultural heritage documentation (PIERRE GRUSSENMEYER, KLAUS HANKE).
- WG V/3: Terrestrial laserscanning (NORBERT PFEIFER, DEREK LICHTI).
- WG V/4: Virtual reality and computer animation (SABRY EL-HAKIM, FABIO REMONDINO).
- WG V/5: Development in image sensor technology (RALF REULKE, SERGEJ ZHELTOV).
- WG V/6: Medical Image analysis, human motion and body measurement (PETROS PATIAS).
- IC WG V/I: Integrated systems for mobile mapping (NASER EL-SHEIMY, ANTONIO VETTORE).
- IC WG I/V: Autonomous vehicle navigation (RON LI, JURGEN EVERAERTS).
- IC WG III/V: Image sequence analysis (MARC POLLEFEYS, DAVID NISTER).

Selbstverständlich sind alle Mitglieder der



Abb. 1: 360°-Aufnahme des Zwinger in Dresden.

DGPF und Leser der PFG willkommen, sich aktiv in diesen Arbeitsgruppen zu beteiligen.

Die wichtigste Veranstaltung der Kommission ist das

ISPRS Commission V Symposium.

Dieses findet unter dem Titel 'Image engineering and vision metrology' vom **25. bis 27. September 2006** in **Dresden** statt. Zusätzlich zum Symposium werden in den Jahren 2005 und 2007 jeweils eine Reihe von Workshops

der einzelnen Arbeitsgruppen, teilweise kombiniert mit anderen Veranstaltungen, durchgeführt.

Aktuelle Information zu Kommission V, zu den Arbeitsgruppen, zum Symposium und zu weiteren Veranstaltungen sind unter <http://www.commission5.isprs.org> zu finden.

HANS-GERD MAAS, Dresden

DGfK – Deutsche Gesellschaft für Kartographie e.V.



Die Deutsche Gesellschaft für Kartographie e.V. (DGfK) ist eine gemeinnützige, wirtschaftlich unabhängige und politisch neutrale Fachgesellschaft. Sie wurde 1951 in Bielefeld gegründet. Ihr gehören gegenwärtig etwa 2000 Personen sowie zahlreiche Behörden, Institutionen und Organisationen an.

Ziele der DGfK

- Förderung der Kartographie in Forschung, Lehre und Praxis,
- Unterstützung aller in kartographischen Berufen Tätigen durch Aus-, Fort- und Weiterbildung, besonders auch des Berufsnachwuchses,
- Pflege der nationalen und internationalen Zusammenarbeit in der Kartographie und mit anderen Fachgebieten,
- Förderung der fachwissenschaftlichen Erkenntnisse für raumbedeutsame Planungen und Maßnahmen und
- Unterstützung der Pflege des kartographischen Kulturgutes in Deutschland.

Vorstandsrat der DGfK

- Vorstand der DGfK
- Sektionsleiter der DGfK
- Kommissionsleiter der DGfK
- 2. Schriftleiter der „Kartographischen Nachrichten“

Vorstand der DGfK

(gewählt im Mai 2003)

- Präsident: Dr. PETER ASCHENBERNER, Hannover
 Vizepräsident: Prof. Dr. JÜRGEN DODT, Bochum
 Schatzmeister: Dipl.-Geogr. CARSTEN RECK-NAGEL, Berlin
 Sekretär: Dipl.-Geogr. Dr. HOLGER SCHARLACH, Hannover
 Sprecher der Sektionen: Dipl.-Ing. ACHIM HOPPE, Leipzig
 Sprecher der Kommissionen: DIETRICH DIETZ, Stuttgart
 Hauptschriftleiter der „Kartographischen Nachrichten“: Dipl.-Ing. Dr. h.c. ROLF HARBECK, Bonn

Mitgliedschaft

Zur Förderung ihrer regionalen Aktivitäten ist die Deutsche Gesellschaft für Kartographie e.V. in Sektionen untergliedert:

- Bayern
- Berlin-Brandenburg
- Münster
- Rhein-Ruhr

- Dresden
- Halle-Leipzig
- Hamburg
- Hannover
- Hessen
- Karlsruhe
- Mittelrhein
- Schleswig-Holstein
- Schwerin
- Stuttgart
- Südbaden
- Thüringen
- Weser-Ems

Kommissionen

Für die Realisierung besonderer fachlicher Aufgaben werden vom DGfK-Vorstand Kommissionen gebildet und ihre Leiter berufen.

Gegenwärtig sind folgende Kommissionen der DGfK tätig:

- *Atlaskartographie* mit Prof. HARTMUT ASCHÉ,
- *Aus- und Weiterbildung* mit Dipl.-Ing. REINHARD URBANKE,
- *Geoinformation und Visualisierung* mit Dr. DORIS DRANSCH,
- *Geschichte der Kartographie* mit Mag. MARKUS HEINZ,
- *Hochgebirgskartographie* mit Prof. LORENZ HURNI,
- *Kartenkuratoren* mit Dipl.-Geogr. WOLFGANG CROM,
- *Kartennutzung* mit Prof. ARMIN HÜTTERMANN,
- *Kartographie und Fernerkundung* mit Prof. JÖRG ALBERTZ,
- *Kartographische Terminologie* mit Prof. WOLF GÜNTHER KOCH,
- *Praktische Kartographie* mit Dipl.-Ing. ERIK THEILE,
- *Recht und Kartographie* mit Regierungsdirektor DIETRICH DIETZ und
- *Schulkartographie* mit Dr. REINHARD HERZIG.

Publikationen

- „*Kartographische Nachrichten*“ (KN), Organ der Deutschen Gesellschaft für Kartographie e.V., der Schweizerischen Gesellschaft für Kartographie und der Österreichischen Kartographischen Kommission in der Österreichischen Geographischen Gesellschaft. KN erscheint sechsmal im Jahr.
- *Kartographische Schriften*, mit Beiträgen von Arbeitstagen und Seminaren sowie Forschungsergebnissen der

Kommissionen der DGfK.

- *Kartographisches Taschenbuch*,
- *Bibliographia Cartographica*,
- *Ausbildungsleitfaden*,
- *Ausgewählte Veröffentlichungen*.

Quelle: Internet – <http://www.dgfk.net>

DGfG – Deutsche Gesellschaft für Geographie



Die DGfG ist die Dachorganisation der geographischen Fachverbände und Gesellschaften in Deutschland mit rund 25.000 Mitgliedern.

Vorstand

Präsident: Prof. Dr. ELMAR KULKE, Berlin
 1. Vizepräsident: Prof. Dr. DIETER BÖHN, Würzburg
 2. Vizepräsident: Dr. RUDOLF JUCHELKA, Aachen
 Schriftführerin: Dr. KARIN WESSEL, Berlin
 Schatzmeister: Dr. EBERHARD SCHALLHORN, Bretten

Ziele der DGfG

Die DGfG vertritt die Interessen der Geographen, die an Schulen, Hochschulen und in der Praxis tätig sind.

Die DGfG setzt sich dafür ein, die Bedeutung der Geographie als Schulfach, Wissenschaft und praxisnaher Disziplin in der Öffentlichkeit zu vermitteln.

Mitgliedschaft

Da die DGfG eine Dachorganisation ist und selbst keine Einzelpersonen als Mitglieder aufnimmt, wenden sich interessierte Geographen bitte an die jeweiligen Teilverbände.

Teilverbände

- Deutscher Verband für Angewandte Geographie (DVAG),

- Hochschulverband für Geographie und ihre Didaktik (HGD),
- Verband der Geographen an Deutschen Hochschulen (VGDH),
- Verband Deutscher Schulgeographen (VDSG),
- 25 regionale Geographische Gesellschaften in Deutschland

Einrichtungen, mit denen die DGfG kooperiert

- Deutsche Akademie für Landeskunde,
- Leibniz-Institut für Länderkunde

Publikationen, anerkannte Geographie – Zeitschriften

1. Zeitschriften der Teilverbände der DGfG
 - *Rundbrief Geographie*: VGDH Bonn
 - *Standort-Zeitschrift für Angewandte Geographie*: DVAG
 - *Geographie und ihre Didaktik* (GuiD): HGD, Hildesheim
2. Zeitschriften mit fachdidaktischen und unterrichtspraktischen Beiträgen
 - *GW-Unterricht*: Verein „Forum Wirtschaftserziehung“. Wien
 - *geographie heute*. Friedrich Verlag. Seelze
 - *Geographie und Schule*: Aulis-Verlag. Köln
 - *Praxis Geographie*: Westermann Verlag. Braunschweig
3. Fachwissenschaftliche Zeitschriften
 - *Die Erde*. Berlin
 - *Erdkunde*. Bonn
 - *Geographische Revue*. Flensburg
 - *Geographische Rundschau*. Westermann Verlag. Braunschweig
 - *Petermanns Geographische Mitteilungen*. Klett Perthes. Gotha
 - *Geographische Zeitschrift* (GZ). Frankfurt
 - *Progress in Human Geography*. London
 - *Geography: The Geographical Association*. Sheffield

<http://www.wiso.uni-koeln.de/wigeo/veroeff/pdf.html>

Presse- und Öffentlichkeitsarbeit
Dr. PETER WITTMANN
e-mail: P_Wittmann@ifl-leipzig.de

Quelle: Internet – <http://www.geographie.de/>

Aktuelle Informationen über EuroSDR European Spatial Data Research



Mitglieder: Österreich, Belgien, Zypern, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Irland, Italien, Niederlande, Norwegen, Polen, Portugal, Spanien, Schweden, Schweiz, Türkei, Vereinigtes Königreich-GB (18 Länder).

Präsident of EuroSDR: KEITH MURRAY, UK, Generalsekretär: KEVIN MOONEY, IRL, e-mail: Kevin.Mooney@dit.ie, Assistentin des Generalsekretärs: Ms. STEPHNEY MOORE, IRL, Chairman of The EuroSDR Science Committee: CHRISTIAN HEIPKE, Hannover.

Web: <http://www.eurosdrr.org>

Kommissionen:

1. Sensoren, Primärdaten-Gewinnung und Georeferenzierung. Präsident: I. COLOMINA, E
2. Bildanalyse und Extraktion von Informationen. Präsident: J. HYYPÄ, FIN
3. Produktions-Systeme und Prozesse. Präsident: E. GÜLCH, Stuttgart
4. Zentrale Geo-Raum-Datenbasen. Präsident: C. BRAY, IRL
5. Integration und Bereitstellung von Daten und Dienstleistungen. Präsident: P. WOODSFORD, GB

Arbeitsgruppen:

- Testung Digitaler Kameras. Leiter: H. ZIEMANN, Dessau
- Integrierte Sensor-Orientierung. Leiter: N.N.
- Information über Kartierung mit Airborne SAR-Daten und optischen Bildern. Leiter: O. HELLWICH, Berlin

- Qualitätsmanagement für Raumdaten. Leiter: H. TASTAN; TR
- Straßen-Extraktion. Leiter: H. MAYER, München
- Berücksichtigung von Bilddeformations-Parametern. Leiter: V. CASELLA, I

Büro für Publikation:

Leiter: A. BUSCH, Frankfurt/Main

Steering committee (deutsche Vertreter):

- A. BUSCH, Frankfurt/Main
- M. CRAMER, Stuttgart
- D. FRISCH, Stuttgart (Prime Delegate of Germany)
- D. GRÜNREICH, Frankfurt/Main
- E. GÜLCH, Stuttgart
- C. HEIPKE, Hannover
- O. HELLWICH, Berlin
- W. KRESSE, Neubrandenburg
- H. MAYER, München
- G. NAGEL, München
- H. ZIEMANN, Dessau

Quellen: www.eurocdr.org, Quarterly News Bulletin EuroSDR 2005-1, March 2005 und PFG 2/2003, S. 145/146.

Trendanalyse zur INTERGEO 2004 in Stuttgart*

Die INTERGEO 2004 hat die Erwartungen der GIS-Branche voll und ganz erfüllt.

Das Nachwuchsteam des „Runder Tisch GIS e.V.“, bestehend aus Studenten und Wissenschaftlichen Mitarbeitern der TU München und der LMU München hat versucht, die interessantesten und wichtigsten Neuheiten zu entdecken und zu bewerten. Der Bericht erhebt dabei keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

Satellitengeodäsie (Galileo) und Sensorik (Messtechnik)

Der operationelle Betrieb von Galileo wird sich von 2008 auf 2010 verschieben.

Bei GPS werden in naher Zukunft neue Signale auf den Frequenzen L1 und L2 zur

Verfügung stehen. Hauptsächlich für die zivile Nutzung (Luftfahrt) wird eine neue, dritte Frequenz L5 eingeführt.

Im Bereich der Sensorik fielen wieder einmal die Laserscanner auf der Messe auf. Diese scheinen 2004 im „Massenmarkt“ angekommen zu sein. Die Objekterkennung aus Punktwolken des Laserscanners stellt aber immer noch die größte Herausforderung dar. Ein Highlight war die Koppelung von Laserscannern mit einem GPS-Empfänger, um die Positionierung des Scanners im Raum zu automatisieren.

Mobile Systeme

Entsprechend dem Motto der Messe stellten zahlreiche Aussteller *mobile Lösungen* vor. Bei der Ausstattung geht die Entwicklung hin zum Verkauf von „Komplett-Systemen“, d.h. Sensor einschließlich Hard- und Software. Der Trend geht weg von PenPCs, hin zu Tablet-PCs (nach Microsoft Definition). Die Akkulaufzeit und das Gewicht stellen aber weiterhin die größten Probleme bei mobiler Hardware dar.

Interoperabilität und Standards des OGC

Sowohl Standards für die Interoperabilität zwischen GIS und anderer Software, als auch Standards des seit Kurzem in „Open Geospatial Consortium“ umbenannten OGC für die Interoperabilität zwischen den GIS unterschiedlicher Hersteller spielen heute eine Rolle. Dabei haben die Standards des OGC inzwischen weite Verbreitung in der GIS-Branche gefunden. Aufklärungsbedarf zum Nutzen von OGC für GIS-Anwender ist jedoch dringend gegeben. Die Begriffe Open GIS und Open Source werden zudem von Vielen in einen Topf geworfen, was nicht im Sinne der GIS-Hersteller sein kann.

Geodateninfrastrukturen

Eng verzahnt mit Interoperabilität und Standards sind auch Geodateninfrastrukturen (GDI). Nachdem auf der INTERGEO 2003 die „Tour de GDI“ Aufmerksamkeit auf dieses Thema lenkte, wurden auch 2004 einige Projekte aus Deutschland vorgestellt, die das weitergehende Interesse an diesem Bereich verdeutlichten.

Kurzfassung eines Berichtes von „Runder Tisch GIS e.V.“

Es fehlen aber weiterhin Geschäftsmodelle für den lukrativen Aufbau einer GDI und es bestehen immer noch Hemmschwellen bei Datenanbietern, Produkte über Geo Web Services zur Verfügung zu stellen.

Open Source Software

Das Thema Open Source wird in letzter Zeit immer häufiger im Zusammenhang mit GIS diskutiert und in den Medien thematisiert. Open Source Software haftet aus Anwendersicht immer noch ein diffuses Image an. Wer einen Auftrag vergibt, möchte eine stabile Lösung aus der Hand eines großen Anbieters, der im Zweifelsfall zur Verantwortung gezogen werden kann. Die Portierung von Desktop-GIS auf Open Source Plattformen wie Linux wird von den großen GIS-Anbietern sehr zurückhaltend behandelt.

GIS-Software nach Open Source Definition spielt bisher eine noch untergeordnete Rolle, wobei unterschieden werden muss zwischen kompletten Open Source GIS wie GRASS und Open Source Web Services zur Beauskunftung von Geodaten wie UMN-Mapserver oder Deegree. Ernsthafte Konkurrenz für kommerzielle GIS-Anbieter stellen die Open Source GIS bisher nicht dar. Bei den Web Services fällt die Antwort auf die Frage nach der Konkurrenz weniger eindeutig aus.

3D-GIS und 3D-Viewer

Das Thema 3D war auf der INTERGEO 2004 allgegenwärtig. Eine Grundlage dafür bieten die verbreiteten GIS- und Planungssysteme auf Basis von AutoCAD und ArcGIS.

Interaktivität nach eigenem Gusto und Streamingtechnologien für eine bandbreiten-schonende Internetpräsentation trotz DSL sind die Herausforderungen, die heute gestellt werden. Entsprechend sind Lösungen für eine intelligente Datenhaltung gefragt, die den Intranet- oder Internetviewer schnell mit den benötigten Daten versorgt.

3D-Editoren, -Erfassungstools und -Modellierungssoftware wurden von mehreren Anbietern präsentiert.

GIS-Branchenlösungen für Umwelt und Natur, Landwirtschaft, Landschafts- und Regionalplanung

Generell kann festgestellt werden, dass Lösungen auf Basis aller Systemarchitekturen zum Einsatz kommen – vom High-End-GIS für ein landesweites Umweltinformationssystem bis hin zu Desktop- und Web-Auskunftslösungen.

Unter den vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten für GIS in der Landwirtschaft sticht InVeKoS, das von der EU vorgeschriebene Integrierte Verwaltungs- und Kontrollsystem als aktuelles Großprojekt hervor, da bis zum Jahr 2005 jeder EU Mitgliedsstaat GIS zur Flächenkontrolle verwenden muss. Verschiedene Anbieter stellten hierfür Softwarelösungen vor.

Risk-Management

Das Thema „Risk-Management“ ist immer noch sehr aktuell. Das zeigten die drei ersten Vorträge auf dem parallel zur Messe laufenden Kongress zu den Themen „*Risikovorsorge durch Raumplanung und Flächenmanagement*“, „*The Use of Global Datasets for Identifying Natural Hazard Risk and Vulnerability*“, sowie „*Koordination von Landinformationen im Katastrophen-Management*“. Die Vorträge waren interessant, jedoch fehlten zum Teil die praktischen Umsetzungen der Lösungen in ein Geoinformationssystem.

GIS an Schulen und Hochschulen

GIS an Schulen und Hochschulen war in Stuttgart zum ersten Mal ein Schwerpunkt der INTERGEO. Die Probleme des Einsatzes von GIS an Schulen wurden im Laufe der Veranstaltung deutlich: Handelsübliche GIS-Software ist oft zu umfangreich (mit Ausnahme der Softwarelösungen von Schulbuchverlagen), eine Schulung der Lehrer fehlt, die Basisdatenbereitstellung durch die Vermessungsverwaltungen ist noch unklar und die Lehrpläne der Bundesländer sind sehr unterschiedlich.

Fazit

Die international führenden Hersteller prägten mit ihren großen Partnerständen das

Gesamtbild der Messe. Erfreulicherweise gibt es auch zahlreiche mittlere und kleinere Firmen, die mit innovativen Entwicklungen und Produkten für spezielle Anwendungen und Nischen Akzente setzen können und so den Markt vorantreiben. Für die Praxis liegt der größte Nutzen in den deutlichen Fortschritten bei der Nutzung verteilter Geodaten und Geodienste auf der Basis verfügbarer und getesteter OGC-Standards. Nachdem alle führenden Hersteller aber auch kleinere Firmen OGC-Standards (WMS und WFS) in ihren Standard-Produkten anbieten, sind jetzt die Datenanbieter und Datennutzer gefordert.

Der DVW hat mit dem Thema 'GIS an Schulen' spät, aber noch nicht zu spät, die Bedeutung einer gezielten Nachwuchsförderung erkannt. Das Landesvermessungsamt Baden-Württemberg leistete dabei für die INTERGEO 2004 erfolgreiche Pionierarbeit.

ANDREAS DONAUBAUER, CARSTEN GÖTZ, ANETTE HUBER, FLORIAN HUBER, KATHRIN JAENICKE, JAN LIEBSCHER, LARS-OLIVER MOHR, SUSANNE MÜLLER, STEPHAN PLABST & WERNER STEMPFHUBER, München

Persönliches

CARL FRIEDRICH GAUSS zum 150. Todestag



Der große Mathematiker und Naturwissenschaftler CARL FRIEDRICH GAUSS* wurde am 30. 4. 1777 in Braunschweig geboren. Er starb am 23. 2. 1855, also vor 150 Jahren, in Göttingen. Den größten Teil seines Lebens wirkte und lebte er in Göttingen, ab 1807 als Professor für Astronomie. Mit seinen Forschungen auf den Gebieten Mathematik, Astronomie, Physik, Geodäsie und Geophysik erreichte GAUSS zu seiner Zeit

weltweit Aufsehen; seine Entdeckungen haben Wirkung bis in unsere Gegenwart.

Die Georg-August-Universität Göttingen, die Stadt Göttingen und die Gauß-Gesellschaft veranstalten aus diesem Anlass das GAUSSJAHR 2005 mit zahlreichen Veranstaltungen und Publikationen (Siehe Quellen).

Schon als Kind verblüffte CARL FRIEDRICH GAUSS – der von sich selbst sagte, er habe eher rechnen als sprechen gelernt – seine Lehrer. In der mit 100 Schülern überfüllten Schulstube erteilte der Lehrer die Aufgabe, alle Zahlen von 1 bis 100 zu addieren. Lange vor seinen Mitschülern hatte der kleine Carl Friedrich das richtige Ergebnis parat. Anhand von 50 Zahlenpaaren mit der Summe von 101 ($1 + 100, 2 + 99, 3 + 98$ und so weiter) löste er die Aufgabe mit $50 \times 101 = 5050$ als richtiges Ergebnis.

GAUSS' herausragendes Talent wurde durch den Braunschweiger Herzog mit Stipendien für die höhere Schule, das Studium in Göttingen von 1795 – 1798 und die Promotion in Helmstedt gefördert. 1807, im Alter von 30 Jahren wurde er – bereits mit hohem wissenschaftlichen Renommee – als Professor für Astronomie nach Göttingen berufen. Im Jahre 1816 wurde eine neue Sternwarte vor den Toren der Stadt fertig

* GAUSS selbst liebte das ansprechende Schriftbild, schrieb seinen Namen unterschiedlich, mit β oder mit ss.

gestellt. Von diesem Jahre bis zu seinem Tode diente sie GAUSS als Wohn- und Arbeitsstätte.

Maßeinheiten, Verfahren, Formeln – in der Wissenschaft wurde und wird vieles mit dem Namen des Urhebers versehen. Es gibt kaum einen wissenschaftlichen Namensgeber, der sich häufiger findet als CARL FRIEDRICH GAUSS. Die Beispiele reichen von der *Gaußschen Normalverteilung* bis zur *Gaußschen Krümmung*. Gauss gehört zu den weltweit wichtigsten Mathematikern, hat aber wie Archimedes, Newton und Galileo auch in anderen Disziplinen Bahnbrechendes geleistet.

Schon im Alter von 19 Jahren lieferte er den mathematischen Beweis für die *Konstruierbarkeit des regulären 17-Ecks*. In dieser Zeit entwickelte er die *Methode der kleinsten Quadrate*.

GAUSS' *Optimierung optischer Systeme* legte die Grundlage für die Entwicklung der Fotoobjektive. Und nicht zuletzt fußt Einsteins Relativitätstheorie auf GAUSS'schen Erkenntnissen in der Geometrie.

Auch in der Geodäsie, der Wissenschaft von der Bestimmung der Form und Größe der Erde, leitete GAUSS eine neue Epoche ein. Bis dahin beruhten Karten vielfach nur auf Entfernungsschätzungen. 1820 wurde GAUSS von Georg IV. mit der Gradmessung für Hannover beauftragt. Fünf Jahre war er größtenteils auf Reisen, um das ganze Land mit einem grobmaschigen Dreiecksnetz von Göttingen (Nullpunkt in der Sternwarte) ausgehend zu überziehen. Mit seinen Arbeiten begann das Zeitalter der klassischen Kartographie.

Es schloss sich eine Periode physikalischer Arbeiten an. Zusammen mit Wilhelm Weber erfand GAUSS 1833 den elektromagnetischen Telegrafen und begann seine bedeutenden Forschungen zum Erdmagnetismus. Im Garten der Sternwarte wurde ein erdmagnetisches Observatorium – ein eisenfreies Gebäude – errichtet. GAUSS erfand ein Messgerät für kleine Magnetfelder und stellte das nach ihm benannte System elektrischer und magnetischer Einheiten auf.

Die Sternwarte wurde nun Zentrum internationaler Forschung. Mit weltweit 53 erdmagnetischen Observatorien wurden zu festen Terminen 24 Stunden lang alle 5 Minuten nach Göttinger Zeit Messungen vorgenommen, um zeitliche Schwankungen des Magnetfeldes genau zu verfolgen.

1851, vier Jahre vor seinem Tode, legte GAUSS ein letztes Mal Grundlagen, diesmal in der Versicherungsmathematik. Mit seinem Gutachten für die Witwenkasse der Universität führte er erstmalig eine Berechnung von Rentenversicherungsbeiträgen auf der Grundlage von Mortalitätsraten und Wahrscheinlichkeitsrechnung ein.

Nach seinem Tode schrieben Zeitgenossen über CARL FRIEDRICH GAUSS: *Dieses Gefühl eines Fürsten der Wissenschaft sah man ihm wohl an, doch er blieb bis zum Schluss seiner Tage der schlichte, einfache Gauss.*

Quellen:

- Broschüre „GAUSS2005“, www.gauss-jahr.de/pdf/gauss2005_flyer.pdf von Matthias Buntrock & Dr. Hermann Siedler,
- Pressemitteilung 56/2005 der Georg-August-Universität Göttingen vom 16.2.2005

Vorankündigungen

2005

21./22. Juni: **ISPRS WG III/4 1st International Workshop »Next Generation 3D City Models«** an der Universität Bonn, gemeinsam veranstaltet mit dem Arbeitskreis GIS

der DGPF und dem EuroSDR. Auskünfte durch: Dr. Thomas Kolbe, Tel.: +49-228-731 760, Fax: +49-228-731 753, e-mail: kolbe@ikg.uni-bonn.de <http://www.ikg.uni-bonn.de/NextGen3dCity/>

22.–24. Juni: **Münsteraner GI-Tage 2005**. Geosensornetze – von der Forschung zur praktischen Anwendung. Auskünfte durch: Antonio Krüger, Institut für Geoinformatik, Universität Münster, Robert-Koch-Straße 26–28, D-48149 Münster. <http://www.gi-tage.de/> <http://ifgi.uni-muenster.de/> <http://www.smartgraphics.org> Tel.: +49-251-83-33073

23.–25. Juni: **Geomatiktage 2005 in Basel**. Auskünfte durch: SGPBF, www.igs-gfsvkv.ch/d/oeffentlichkeit/veranstaltungen/fin dex.html

26. Juni – 1. Juli: **Sommerakademie Naturgefahren und Katastrophen – Management** des Center for Disaster Management and Risk Reduction Technology (CEDIM) in **Karlsruhe/ Bad Herrenalb**. Auskünfte durch: Universität Karlsruhe (TH), CEDIM-Geschäftsstelle, 76128 Karlsruhe, Dr. Christiane Lechtenböcker, Tel.: 0721-608-2274/-3887, Fax: 0721-608-2265, www.cedim.de

6.–8. Juli: **AGIT 2005 – Symposium und Fachmesse für Angewandte Geoinformatik in Salzburg**. Auskünfte: <http://www.agit.at/>

8.–10. Juli: **ISPRS IC WG II/IV und 6th Joint ICA/ ISPRS/ EuroGeographics Workshop on Incremental Updating & Versioning of Spatial Data Bases in A Coruña**, Spanien. Auskünfte durch: Dr. Ammatzia Peled, Co-chair IC WG II/IV, Tel.: +972-4-8-240-148, Fax: +972-4-8-249-605, e-mail: peled@geo.haifa.ac.il, www.geohaifa.ac.il/~icaupdt/meetings/meetings.htm

9.–16. Juli: **XXII ICA International Cartographic Conference in A Coruña**, Spanien. Auskünfte durch: Global Congresses, Tel.: +34-981-208 990, Fax: +34-981-208 701, e-mail: secretary@icc2005.org, www.icc2005.org/html-eng/english.html

26.–28. Juli: **4th International Conference on Environmental Informatics (ISEIS 2005) in Xiamen**, China. Auskünfte durch: Prof. Dr. Jonathan Li, Tel.: 416-979-5000 #6469, Fax: 416-979-5122, e-mail: junli@ryerson.ca, www.iseis.org

26.–29. Juli: **International Conference on Computer Graphics, Imaging and Visualization (CGIV05) in Beijing**. Auskünfte durch: Ebad Banissi, Tel.: +44-171- 815 7476, Fax: +44-171-815 7499, e-mail: banissi@lsbu.ac.uk, www.graphicslink.demon.co.uk/cgvi05

17.–19. August: **13th International Conference on Geoinformatics: Coping Disaster across Continents in Toronto**. Auskünfte durch: Dr. Songnian Li, Tel.: +1-416-979 5000#6450, Fax: +1-416-979-5122, e-mail: geoinfo5@ryerson.ca, www.ryerson.ca/geoinformatics2005

18./19. August: **EuroSDR Seminar on Automated Checking of DTMs** in **Aalborg**, Dänemark. Auskünfte durch: Prof. Joachim Höhle, Tel.: +45-9635 8361, e-mail: mailto:jh@land.aau.dk > jh@land.aau.dk http://www.land.aau.dk/~jh/dtm_checking/

22.–24. August: **ISPRS WG V/4 Workshop 3D-Arch'2005. 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures in Mestre-Venice**, Italien. Auskünfte durch: Fabio Remondino, WG V/4 Co-Chair, e-mail: fabio@geod.baug.ethz.ch, www.3d-arch.org

25./26. August: **ISPRS WG II/7 4th International Symposium on Spatial Data Quality in Beijing**. Auskünfte durch: Dr. John Shi (Chair WG II/7), e-mail: lszwshi@polyu.edu.hk, www.lsgu.polyu.edu.hk/issdq2005/

27.–29. August: **ISPRS WG II/1, 2, 7, VII/6 International Symposium on Spatial-temporal Modeling, Spatial Reasoning, Spatial Analysis, Data Mining & Data Fusion (STM'05) in Beijing**. Auskünfte durch: Prof. Dr. Xinming Tang (Co-chair WG II/1), Tel./ Fax: +86-10-6824 5953, e-mail: tang@casm.ac.cn, issstm2005.casm.ac.cn

29./30. August: **Joint Workshop of ISPRS WG III/4, 5 and DAGM CMRT05 "Object Extraction for 3D City Models, Road Databases and Traffic Monitoring – Concepts, Algorithms, and Evaluation"** in **Wien**. Aus-

künfte durch: Dr. Franz Rottensteiner, University of New South Wales, Sydney, e-mail: f.rottensteiner@unsw.edu.au und Prof. Uwe Stilla, TU München, e-mail: stilla@bv.tu-muenchen.de, www.gmat.unsw.edu.au/wgiii4/ws05

29. August – 2. September: **AfricaGIS 2005** in **Johannesburg**, Südafrika. Auskünfte unter: www.africagis2005.org.za

31. August – 2. September: **DAGM 2005** – 27. **Jahrestagung** der Deutschen Arbeitsgemeinschaft für Mustererkennung in **Wien**. Auskünfte durch: Conference Secretariat e-mail: dagm05@prip.tuwien.ac.at; Pattern Recognition & Image Processing Group, Institute of Computer Aided Automation, Vienna University of Technology, Favoritenstr. 9-183/2, A-1040 Vienna-Austria, Tel.: +43-1-58801-18351, Fax: +43-1-58801-18392, www.prip.tuwien.ac.at/dagm05/

5.–8. September: **ISPRS IC WG II/IV: 4th Workshop on Dynamic & Multidimensional GIS** in **Pontypridd**, Wales, UK. Auskünfte durch: Prof. Christopher Gold, e-mail: cmgold@glam.ac.uk

5.–9. September: **50. Photogrammetrische Woche 2005** in **Stuttgart**. Auskünfte durch: Martina Kroma, Tel.: +49-711-121 3386, Fax: +49-711-121 3297, e-mail: martina.kroma@ifp.uni-stuttgart.de, www.ifp.uni-stuttgart.de/aktuelles/veranstaltungen.html

6.–9. September: **RSPSoc 2005 Annual Conference “Measuring, Mapping & Managing a Hazardous World”** in **Portsmouth** University, UK. Auskünfte durch: Richard Teeuw, e-mail: richard.teeuw@port.ac.uk oder rspsoc@nottingham.ac.uk, http://www.rspsoc.org/calendar

7.–9. September: 1st **International Conference on Remote Sensing & Geomatics in the Assessment and Monitoring of Land Degradation & Desertification (RGLDD)** in **Trier**. Auskünfte durch: Achim Roeder, Tel.: +49-651-201-4606, Fax: +49-651-201-3815, e-

mail: rgldd@uni-trier.de, http://www.feut.de/rgldd

12./13. September: **AgA-Tagung** „Arbeitsgruppe **Automation in der Kartographie**“ der DGfK im Österreichischen Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen in **Wien**. Auskünfte und Einreichung von Beiträgen: www.ikg.uni-hannover.de/ega

12.–14. September: **ISPRS WG III/3, 4, V/3 Workshop Laserscanning 2005** in **Enschede**, Niederlande. Auskünfte durch: George Vosselman, Tel.: +31-53-487-4344, Fax: +31-53-487-4335, e-mail: vosselman@itc.nl, www.itc.nl/isprswgIII-3/laserscanning2005

14.–16. September: **ISGI 2005 – International Symposium on Generalization of Informatic** in **Berlin**. Auskünfte: www.horst-kremers.de/ISGI, e-mail: office@horst-kremers.de

21.–23. September: 53. **Kartographentag der DGfK** und 25. **Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF** als gemeinsame Jahrestagung mit dem Thema „**Aufbruch ins Geo-Government**“ in **Rostock**. Auskünfte durch: www.dgpf.de, www.dgfk.net, www.auf.uni-rostock.de/gg

27. September – 1. Oktober: **XX International Symposium CIPA 2005** in Kooperation mit ICOMOS und ISPRS „**International Cooperation to save the World’s Cultural Heritage**“ in **Torino**, Italien. Auskünfte durch: ACTA Congresses and Events, Tel.: +39-11-591871, Fax: +39-11-590833, e-mail: info@actacongress.com; http://www.cipatorino2005.org

1.–8. Oktober: 55. **Deutscher Geographentag „Grenzwerte“** in **Trier**. Auskünfte durch: Prof. Dr. Johannes Ries, e-mail: riesj@uni-trier.de, Prof. Dr. Ulrike Sailer, e-mail: sailer@uni-trier.de

3.–5. Oktober: 7th **International Conference on Optical 3-D Measurement Techniques and ISPRS WG V/1 Session** in **Wien**. Auskünfte durch: Conference secretary, e-mail: conf@

pop.tuwien.ac.at und Prof. Thomas Luhmann (WG V/1), e-mail: luhmann@fh-oldenburg.de, www.info.tuwien.ac.at/in-geo/optical3d/o3d.htm

3.–6. Oktober: **7th Annual Forest Inventory and Analysis Symposium in Portland, MN, USA**. Auskünfte durch: Dr. Ronald E. McRoberts, Tel.: +1-651-649-5174, Fax: +1-651-649-5285, e-mail: rmcroberts@fs.fed.us, http://www.fs.fed.us/

4.–6. Oktober: **INTERGEO 2005 in Düsseldorf**. Auskünfte durch e-mail: intergeo2005@stadt.duesseldorf.de, www.dvw.de, www.intergeo2005.de und www.hinte-messe.de

6./7. Oktober: **Universitätslehrgang Laser-scanning – Data Acquisition and Modeling an der Technischen Universität Wien**. Auskünfte: http://www.ipf.tuwien.ac.at/events/unil_laser_2005.html

6.–8. Oktober: **1th International Symposium on Cloud-prone and Rainy Areas Remote Sensing (CARRS2005) in HongKong**. Auskünfte durch: Ms. Chloris Yip, Tel.: +852-2609 6538, Fax: +852-2603 7470, e-mail: jlgis@cuhk.edu.hk, www.jlgis.cuhk.edu.hk/events/events/CARRS2005/

14.–16. Oktober: **ISPRS WG IV /1, 8, IC WG II/IV Workshop on Service and Application of Spatial Data Infrastructure in Hangzhou, China**. Auskünfte durch: Dr. Jie Jiang, Tel.: +86-10-6848-3218, Fax: +86-10-6842-4101, e-mail: jjie@nsdi.gov.cn und e-mail: jiangjie_263@263.net, www.isprs-wg41.nsd.gov.cn

15./16. Oktober: **ISPRS WG III/1, III/2 Workshop BenCOS “Towards Benchmarking Automated Calibration, Orientation and Surface Reconstruction from Images” in Beijing**. Auskünfte durch: Camillo Ressel (Chair WG III/1), Tel.: +43-1-58 801 122 34, Fax: +43-1-58 801 122 99, e-mail: car@ipf.tuwien.ac.at, www.ipf.tuwien.ac.at/isprs/wgiii1/ws2005_wg12.html

17.–19. Oktober: **ISPRS WG VII/1: 9th International Symposium on Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing (ISPMSRS) in Beijing**. Auskünfte durch: Dr. Shunlin Liang (Co-chair WG VII/1), Tel.: +1-301-405 -4556, Fax: +1-301 -314-9299, e-mail: sliang@geog.umd.edu, http://www.ISPMSRS2005.org

16.–18. Oktober: **SilviScan – Lidar Applications in Forest Assessment and Inventory in Blacksburg, Virginia, USA**. Auskünfte durch e-mail: ross.f.nelson@nasa.gov

21. Oktober: **ISPRS IC WG III/V: 6th Workshop on Omnidirectional Vision, Camera Networks & Non-classical Cameras (OMNIVIS2005) in Beijing**. Auskünfte durch: Marc Pollefeys, e-mail: marc@cs.unc.edu oder Xianghua Ying, e-mail: xhying@cis.pku.edu.cn, www.eecs.berkeley.edu/~cgeyer/OMNIVIS05/

23.–27. Oktober: **PECORA 16, The William T. Pecora Memorial Symposium “Global Priorities in Land Remote Sensing” in Sioux Falls, SD**. Auskünfte durch: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, www.asprs.org

30. Oktober – 2. November: **2. Internationales Alfred Wegener Symposium in Bremerhaven** anlässlich des 125-jährigen Geburtstages und 75-jährigen Todestages von Alfred L. Wegener. Auskünfte: www.alfred-wegener-symposium.de

31. Oktober – 2. November: **4th International Symposium on Multispectral Image Processing & Pattern Recognition in Wuhan, China**. Auskünfte durch: Ms. Shi Lite, Tel./ Fax: +86-27-6877-8969, e-mail: lilyshi@mail.liesmars.wtusm.edu.cn, www.liesmars.wtusm.edu.cn

3./4. November: **International Symposium on Modern Technologies, Education & Professional Practice in Geodesy & Related Fields in Sofia, Bulgarien**. Auskünfte durch: Prof. Dr. G. Milev, Tel.: +359-2-870-0406, Fax: +359-2-987-9360, e-mail: milev@bas.bg

21.–25. November: 8th **South East Asian Survey Congress** in **Brunei**. Auskünfte durch: Congress Secretariat, Tel.: +673-2-238 2005, Fax: +673-2-238 2185, e-mail: secreta rygeneral@seasc2005.org.bn, www.seasc 2005.org.bn

30. November – 2. Dezember: 2nd International **Conference “Earth from Space – the Most Effective Solutions”** in **Moskau**. Auskünfte durch: Polina Glazyrina, e-mail: polina@scanex2.ss.msu.ru und Conference Secretary, Tel./Fax: +7-095-939-4284, e-mail: conference@scanex.ru, www.transparentworld.ru/conference/

9./10. Dezember: **Geokosmos 4th International Conference and Exhibition in Moskau**. Auskünfte unter: inna_bartchan@geokosmos.ru

2006

13.–15. Februar: **ISPRS WG VIII/11 & EARSeL joint Conference “3D Remote Sensing in Forestry”** in **Wien**. Auskünfte durch: Prof. Werner Schneider, Tel.: +43-1-47654-5100, e-mail: werner.schneider@boku.ac.at, http://ivfl.boku.ac.at/3DRSFForestry

29.–31. März: 5th International Symposium **Turkish-German Joint Geodetic Days** in **Berlin**. Auskünfte durch: Prof. Dr. Lothar Gründig, Tel.: +49-30-3142 2375, e-mail: gruendig@inge3.bv.TU-Berlin.de

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

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

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

31. Juli – 4. August: **IEEE/ IGARSS 2006** in **Denver**, CO, USA. Auskünfte durch: Ms. Lisa A. Ostendorf, Tel.: +1-540-658-1676, Fax: +1-540-658-1686, e-mail: ieeeigrss@adelphia.net, http://www.igarss06.org

18.–22. September: **ISPRS Commission III Symposium „Photogrammetric Computer Vision 2006”** in **Bonn**. Auskünfte durch: Prof. W. Förstner, Pres. Comm.III, e-mail: wf@ipb.uni-bonn.de, http://www.commission3.isprs.org

25.–27. September: **ISPRS Commission V Symposium „Image Engineering and Vision Metrology“** in **Dresden**. Auskünfte durch: Prof. H.-G. Maas, Pres. Comm.V, e-mail: hmaas@rcs1.urz.tu-dresden.de, http://www.commission5.isprs.org

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

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

10.–12. Oktober: **INTERGEO 2006** in **München**, Messegelände. Kongressdirektor: Dipl.-Ing. Walter Henninger. Auskünfte unter: www.dvw.de, www.intergeo2006.de und www.hinte-messe.de

2008

14.–25. Juli: 21. **ISPRS Kongress** in **Beijing**, China. Auskünfte durch: CSGPC, Tel.: +86-10-68339005, Fax: +86-10-6831 1564, e-mail: fanbsm@public.bta.net.cn, http://www.isprs2008-beijing.com

Buchbesprechung

ALBERT WIEDEMANN, 2004: Handbuch Bauwerksvermessung. Geodäsie – Photogrammetrie – Laserscanning. 1. Aufl., 315 S., Birkhäuser Verlag, Basel, ISBN 3-7643-6722-9.

ALBERT WIEDEMANN ist vielen Fachleuten aus der Nahbereichsphotogrammetrie, insbesondere der Architekturphotogrammetrie, seit langem als ausgewiesener Fachmann bekannt. Er hat viele Jahre als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU Berlin unter Prof. ALBERTZ gearbeitet, in einem Institut, das sich seit vielen Jahrzehnten traditionell mit Fragen der Bauaufnahme für Architektur und Denkmalpflege beschäftigt hat. ALBERT WIEDEMANN hatte also direkten Zugang zu zahllosen praktischen Projekten, aber auch zu wissenschaftlichen Grundlagenarbeiten auf hohem Niveau.

Mit dem vorliegenden Buch *Handbuch Bauwerksvermessung* legt ALBERT WIEDEMANN ein Werk vor, das auf 315 Seiten einen praktisch vollständigen Überblick über die wichtigsten Verfahren der Bauaufnahme präsentiert. Der Untertitel des Buches mit *Geodäsie – Photogrammetrie – Laserscanning* deutet an, dass es drei wichtige Verfahrensbereiche gibt, die sich mit der messtechnischen Erfassung von Gebäuden beschäftigen. Grundsätzlich folgt die Gliederung des Buches auch dieser Reihenfolge.

Im ersten Kapitel werden auf insgesamt 44 Seiten *Grundlagen* erläutert. Diese gliedern sich in *Allgemeine Grundlagen* mit geschichtlichen Hintergründen und Betrachtungen zu rechtlichen Grundlagen. Nach *Messgrößen und Maßeinheiten* folgt ein ausführlicherer Abschnitt über *Bezugssysteme und Koordinaten*. Hier werden die wichtigen Koordinatentransformationen genannt und teilweise durch Rechenformeln und Zahlenbeispiele näher erläutert. Die in der Praxis sehr wichtige räumliche Ähnlichkeitstransformation kommt dazu allerdings vergleichsweise zu kurz. Es folgen Hinweise zu

einigen Vermarktungs- und Signalisierungstechniken für die Bauvermessung. Der nachfolgende Abschnitt *Fehlerlehre und Statistik* fasst auf sieben Seiten einige wichtige Begriffe zur Fehlerlehre zusammen.

Kapitel 2 widmet sich der *Dokumentation von Gebäuden und Ensembles*. Das ist eine interessante Idee, denn in vielen Fällen der Bauwerksvermessung spielt die Dokumentation eine größere Rolle als die eigentliche Vermessung. Auf den insgesamt 35 Seiten werden amtliche Dokumentationen, Pläne, 3D-Beschreibungen, fotografische Dokumentation, textliche und hybride Beschreibungen sowie Archivierungsfragen behandelt.

Im dritten Kapitel widmet sich das Buch der *Erfassung von Messelementen*. Auf 31 Seiten werden dabei die grundlegenden geodätischen Messverfahren erläutert. Nach einer Einführung in das geodätische Prinzip *Vom Großen ins Kleine* folgen Abschnitte über *Geräte und Instrumente* zur Messung von Winkeln, Strecken und Höhenunterschieden mit Angabe vorwiegend einfacher Instrumente. Man findet hier Hinweise zu modernen Vermessungsgeräten genauso wie z. B. zur optischen Streckenmessung mit Basislatte.

Auf den nächsten 63 Seiten werden im Kapitel 4 *Messverfahren* zur Bauwerksvermessung angesprochen. Einem kurzen Abriss über *Schrittskizze* und *Handaufmaß* folgt ein ausführlicherer Abschnitt zur *Punktbestimmung ohne Theodolit*. Anschließend werden Verfahren zur ebenen *Zielpunktvermessung* (Polarmessung, Vorwärtsschnitt) und zur *Standpunktvermessung* (ebener Rückwärtsschnitt, freie Stationierung) erläutert. Es folgt ein Abschnitt zum Thema *Netzmessung*, in dem ausführlich auf verschiedene Arten von Polygonzügen, aber auf nur einer Seite auf das Thema GPS eingegangen wird. Mit dem Unterkapitel *Höhenmessung* werden die Erläuterungen zu geodätischen Messverfahren abgeschlossen. Es folgen schließlich noch Abschnitte über praktische Hinweise zu *Datenerfassung und*

-management sowie zu *Geodätischen Aufgaben* (Geländeaufnahme, Kartierung). Das gesamte Kapitel ist durch verständliche Abbildungen illustriert und bietet dem Leser durch zahlreiche Zahlenbeispiele die Möglichkeit, die angegebenen Formeln schrittweise nachzurechnen.

Kapitel 5 widmet sich auf 69 Seiten dem Thema *Architekturphotogrammetrie*. Hier ist ALBERT WIEDEMANN in seinem Element und widmet sich ausführlich den vielfältigen Aspekten der photogrammetrischen Vermessung. In den *Grundlagen* werden grundlegende photogrammetrische Verfahren, Vor- und Nachteile, Aufnahmesysteme und Koordinatensysteme erläutert. Gegenüber modernen Digitalkameras wird dabei die analoge Aufnahmetechnik noch in den Vordergrund gestellt. Es folgt ein Abschnitt über *Orientierung*, der sich ausführlicher mit Fragen der inneren Orientierung beschäftigt, die räumlichen Orientierungsaufgaben werden dagegen nur kurz umrissen. Viel intensiver beschäftigt sich ALBERT WIEDEMANN dagegen mit dem folgenden Thema *Entzerrung*. Sehr erfreulich ist hier die Konzentration auf Verfahren der digitalen Entzerrung. Vergleichsweise kürzer sind die dann folgenden Abschnitte über *Stereophotogrammetrie* und *Mehrbildphotogrammetrie*, z. B. ohne vertiefte Hinweise auf das Problem der Näherungswertbestimmung oder die praktischen Probleme bei der Mehrbildaufnahme und -auswertung.

Auf den nächsten 14 Seiten widmet sich das Werk dem Thema *Laserscanning*, also dem dritten Untertitel des Buches. Nach der Darstellung von prinzipiellen Funktionsweisen und typischen am Markt verfügbaren Instrumenten werden den in Praxis hauptsächlich auftretenden Problemen der Registrierung von Punktwolken und deren anschließende Modellierung nur wenig Raum gegeben.

Im siebten Kapitel werden Fragen des *Projektmanagements* diskutiert. Planung, Dokumentation und Nachbearbeitung von Messungen werden ausführlich und mit vielen anschaulichen Beispielen erläutert. Hier zeigt der Autor erneut, dass er auf eigene praktische Erfahrungen in zahlreichen

Messprojekten zurückgreifen kann.

Mit einer abschließenden Zusammenfassung und einem Ausblick in die Zukunft schließt das achte Kapitel den inhaltlichen Teil des Buches ab. Es folgen ein mehrsprachiges Glossar, Symbol- und Abkürzungsverzeichnis (wobei ausgerechnet c oder c_k für die Kamerakonstante fehlen) und ein relativ kurzes Literaturverzeichnis.

Zusammenfassend lässt sich Folgendes sagen: ALBERT WIEDEMANN hat sich der großen Aufgabe gestellt, ein komplexes Thema in einer lesbaren und verständlichen Weise darzustellen. Als Zielgruppe hat er dabei Berufstätige und Studierende ohne vermessungstechnischen Hintergrund definiert. Die Aufgabe eines *Handbuches* ist dabei in erster Linie die, es bei einem auftretenden Problem *zur Hand* zu nehmen und sich eine schnelle und problemorientierte Lösung zu holen. Ein Handbuch ist also kein Lehrbuch und auch der Druckfehlerteufel spielt dabei nur eine untergeordnete Rolle. Insofern ist es ALBERT WIEDEMANN gelungen, diese Aufgabe ausgezeichnet zu lösen. Sicher sind hier und da einige Ungleichgewichte festzustellen, etwa das vergleichsweise sehr kurze Kapitel über Laserscanning oder die teils sehr detaillierten Ausführungen zu geodätischen Einzelfragen. In jedem Fall gewinnt ein fachfremder Leser, z. B. ein Bauingenieur oder Architekt, einen kompakten Eindruck über die Vielfalt und Leistungsfähigkeit vermessungstechnischer Methoden und den speziellen Sprachgebrauch der Geodäten, was zu einer reibungslosen Zusammenarbeit in der Praxis unerlässlich ist. Dem Werk merkt man ALBERT WIEDEMANN'S Wurzeln zur TU Berlin an, deren Arbeitsschwerpunkte, Lehrinhalte, Geräteausstattung und praktische Projekte immer wieder im Vordergrund stehen.

Das Buch liegt in ausgezeichneter Druckqualität als Hardcover-Ausgabe vor. Der Verkaufspreis von 88,00 Euro wird es leider nur wenigen Studierenden ermöglichen, sich das Werk selbst zu kaufen. Für den Praktiker aber ist es in jedem Fall eine lohnenswerte Investition. ALBERT WIEDEMANN ist für sein Engagement zu danken, denn wer heute noch ein Buch schreibt, ist vor allem

ein Idealist. Er hat einen wichtigen Beitrag zum Gebiet der Bauwerksvermessung, insbesondere der Architekturphotogrammetrie, geleistet. Es ist ALBERT WIEDEMANN, dem Birkhäuser Verlag und allen Fachkol-

legen zu wünschen, dass dieses Werk eine weite Verbreitung findet.

THOMAS LUHMANN, Oldenburg

Zum Titelbild

Image Services aus einer Hand



Das Management von Rasterdaten wird zunehmend zu einer schwierigen Aufgabe. Das Auflösungsvermögen von Luft- und Satellitenbildern steigt, die Menge der zu bearbeitenden Rasterdaten explodiert. Inmitten von hunderten von Kacheln verliert der Nutzer der Daten schnell den Überblick.

Die greenlab geoinformatics GmbH bietet jetzt gemeinsam mit TerraImaging b.v. Imageservice aus einer Hand. Die beiden Firmen kombinieren hierbei ihre langjährige Erfahrung in sehr unterschiedlichen Gebieten – TerraImaging in der Aufnahme und Verarbeitung von Laser- und Digitalkameradaten, greenlab geoinformatics GmbH in der Raumbezogenen Datenverarbeitung.

Die gemeinsame Idee ist nun, hoch auflösende Rasterdaten durch neue Kompressionsverfahren wie ECW und JPEG2000 nicht nur handhabbar zu machen, sondern darüber hinaus den Zugriff auf die Daten im Inter-/Intranet zu ermöglichen und das

mit einer ungeahnten Geschwindigkeit. Dabei ist es gleich, ob es sich um mehrere Terabyte an Daten handelt. Mit dem Image Web Server ist es möglich, einen individuellen Service bereitzustellen, der auch weitere WMS (Web Map Services) integriert und das in Standardbrowsern. Die Daten können aber auch direkt über ein WMS in GIS- oder CAD Applikationen integriert werden. Die bisher notwendige Kachelung der Daten gehört der Vergangenheit an. Sie integrieren eine ECW/JPEG2000 Datei, die ihre Gesamtfläche abbildet.

TerraImaging steht für die Aufnahme und Verarbeitung sehr hoch auflösender Daten – Lasermodelle mit mehreren Punkten pro m² helfen die Erdoberfläche besser zu verstehen, Farbbildmosaike mit Auflösungen von 8-20 cm und Genauigkeiten im Pixelbereich machen das Planen, Interpretieren und Modellieren komplexer Zusammenhänge möglich. Die entstehenden Datenmengen können eine Herausforderung für die Nutzer darstellen – hier sind kluge Kompressionsverfahren gefragt.

Die greenlab geoinformatics bietet die Einrichtung, Konfiguration und Anpassung der Benutzeroberfläche des Image Web Server als Service an. Die Daten werden mosaikiert, die Farben angepasst und das Ergebnis als ECW oder JPEG2000 mit einer Farbtiefe von bis zu 28 bit in den IWS integriert. Das Hosting der Daten auf dem Hochleistungsserver der greenlab geoinformatics GmbH ermöglicht eine kostengünstige Bereitstellung eines IWS-Service. Auf den Homepages von TerraImaging b.v. und greenlab geoinformatics finden Sie eine Beispielanwendung des IWS. Diese sagt mehr als tausend Worte – erleben Sie 50 GB hoch-

aktueller und höchstauflösender digitaler Luftbilder von TerraImaging b.v., in den IWS integriert von greenlab geoinformatics. Machen Sie sich im Folgenden ein Bild von uns und erfahren Sie mehr über Image Service aus einer Hand.

Firmenprofil Terralmaging b.v.

Seit ihrer Gründung im Jahr 1994 bietet TerraImaging b.v. ihren Kunden hochqualitative und präzise Geodaten, die auf modernsten Fernerkundungstechnologien wie dem Airborne Laserscanning (LIDAR) und verschiedenen digitalen Kamerasystemen basieren. Neben der flugzeuggestützten Befliegung großer Areale setzen wir Helikopter ein, die insbesondere bei Trassenbefliegungen von Infrastruktureinrichtungen wie Straßen oder Hochspannungsleitungen eine schnelle und effektive Aufnahme des Gebietes ermöglichen.

In über 100 Projekten mit einer Gesamtfläche von mehr als 40.000 km² kamen ganze Städte, Flüsse, Wälder und Küstenregionen in Europa, Australien und Südostasien unter den Scanner. Es entstanden z.T. landesweite digitale Höhenmodelle (Niederlande, Belgien, Schweiz, die neuen Bundesländer) und Orthobildmosaike von europäischen Großstädten, Gemeinden und ganzen Flussverläufen (Elbe, Loire). Die Einsatzmöglichkeiten finden sich u.a. im Gewässermanagement und Küstenschutz, in der Stadtplanung und der Infrastrukturkartierung, aber auch im Telekommunikationsbereich, im Lärmschutz oder in der Forstwirtschaft.

Die gigantischen Datenmengen im Giga-byte- und Terrabytebereich werden mittels unserer eigenentwickelten Software-Lösungen prozessiert. Je nach Anforderung erreichen die hoch auflösenden digitalen Laser-Höhenmodelle eine Punktdichte von einem bis mehreren Messungen pro m², die Orthobildmosaike in Echtfarben (RGB) und Colorinfrarot (CIR) haben Auflösungen von 8-20 cm, die Genauigkeiten liegen im Pixelbereich.

Technische Innovation ist unser Hauptanliegen. Durch die Kombination einer di-

gitalen, hoch auflösenden Kamera und dem modernen Laserscanner – dem „Laser@Kamera-System“ – können wir unsere neuartigen 3D-Orthobildmosaike anbieten. Diese weisen alle Vorzüge beider Technologien auf und zeichnen sich insbesondere durch die zusätzliche detaillierte Höheninformation, eine hohe Genauigkeit und Auflösungen von bis zu 3 cm (!) aus.

Neben der Flugplanung, Datenaufnahme und -produktion und der Qualitätskontrolle bieten wir auch den Service der Datenprozessierung für alle gängigen digitalen Kamerasysteme an – egal ob Framekamera oder Zeilenscanner. Mit Unterstützung und Beratung stehen wir unseren Kunden in allen Bereichen ihres Projektes zur Seite und liefern ihnen Informationsprodukte, die ihren individuellen Anforderungen und Wünschen entsprechen.

Firmenprofil greenlab geoinformatics

Die Firma greenlab geoinformatics GmbH wurde 1990 gegründet und hat Ihren Sitz in Berlin Grünau. greenlab geoinformatics ist ein unabhängiges Unternehmen und arbeitet auf dem Gebiet der Raumbezogenen Datenverarbeitung. In diesem Umfeld wird eine breite Palette von Produkten und Dienstleistungen angeboten. Durch diese Angebotsvielfalt sind wir in der Lage komplette Projekte aus einer Hand zu realisieren aber auch in Kooperationen interdisziplinär zusammenzuarbeiten.

Als Vertriebs- und Projektpartner führender GIS- und Datenanbieter steht greenlab als Lieferant von Software- und Daten zur Verfügung. Im Angebot sind unter anderem Softwareprodukte der Firmen ESRI, Autodesk und ER Mapper sowie Daten von eurimage und TerraImaging. Als Ergebnis der Entwicklungsarbeit bei greenlab werden Anwendungen für unterschiedliche Einsatzgebiete, wie zum Beispiel forstliche, kommunale und Umweltinformationssysteme, angeboten.

Ein wichtiges Ziel ist es, unsere Partner und Kunden in die Lage zu versetzen, mit ihren Programmen und Daten immer effizienter zu arbeiten. Dafür halten wird ein

umfangreiches Schulungsprogramm bereit, beginnend bei GIS-Grundlagenkursen bis hin zu Workshops für Fernerkundung.

Weitere Unternehmensschwerpunkte sind die Erfassung, Veredelung und Pflege der Daten unserer Kunden sowie Hostingdienstleistungen, um das unternehmensinterne Datenmanagement unserer Kunden zu entlasten und planbare Kostenstrukturen zu ermöglichen.

Als Systemhaus für Geoinformationssysteme stellen wir unseren Kunden alles zur Verfügung, was für die erfolgreiche Nutzung von Geoinformationen benötigt wird. Bei der Realisierung von Projekten setzen wir auf modernste Technologie, Lösungen die auf Standards basieren und interdisziplinäre Kooperation. Dabei sind uns das gegenseitige Vertrauen und die langfristige, partnerschaftliche Zusammenarbeit besonders wichtig.



greenlab geoinformatics GmbH

Regattastr. 55, 12527 Berlin
Tel.: 030-670 001 0, Fax: 030-670 001 20
info@greenlab.de, www.greenlab.de



TerraImaging Berlin

Elsenstr. 106, 12435 Berlin
Tel.: 030-532 177 20, Fax: 030-532 177 26
info@terraimaging.de, www.terraimaging.de

Neuerscheinungen

THOMAS LUHMANN (Hrsg.), 2004: Photogrammetrie-Laserscanning-Optische 3D-Messtechnik. Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2004. X, 340 S. Kartoniert. Mit CD-ROM. Herbert Wichmann, Hüthig Fachverlage, Heidelberg. Bestellungen: e-mail: kundenservice@huethig.de; ISBN 3-87907-407-0. € 52,00

JOCHEN SCHIEWE (Hrsg.), 2004: E-Learning in Geoinformatik und Fernerkundung. X, 190 S. Kartoniert. Herbert Wichmann, Hüthig Fachverlage, Heidelberg. Bestellungen: e-mail: kundenservice@huethig.de; ISBN 3-87907-414-3. € 40,00

MARK MÜLLER & GISELHER KAULE (Hrsg.), 2004: E-Learning mit GIS und Modell Anwendungen. Ergebnisse des Projektes gimolus. Ca. 320 S. Kartoniert. Herbert Wichmann, Hüthig Fachverlage, Heidelberg. Bestellungen: e-mail: kundenservice@huethig.de; ISBN 3-87907-417-8. € 56,00

JÜRGEN SCHWEIKART & THOMAS KISTEMANN (Hrsg.), 2004: Geoinformationssysteme im Gesundheitswesen. Grundlagen und Anwendungen. Ca. 280 S. Kartoniert. Herbert Wichmann, Hüthig Fachverlage, Heidelberg. Bestellungen: e-mail: kundenservice@huethig.de; ISBN 3-87907-394-5. € 52,00

LUTZ PLÜMER & HARTMUT ASCHE (Hrsg.), 2004: Geoinformation – Neue Medien für eine neue Disziplin. X, 180 S. Kartoniert. Herbert Wichmann, Hüthig Fachverlage, Heidelberg. Bestellungen: e-mail: kundenservice@huethig.de; ISBN 3-87907-416-X. € 40,00

JOSEF FÜRST, 2004: GIS in Hydrologie und Wasserwirtschaft. XIV, 336 S. Kartoniert. Herbert Wichmann, Hüthig Fachverlage, Heidelberg. Bestellungen: e-mail: kundenservice@huethig.de; ISBN 3-87907-413-5. € 56,00

- LARS BERNARD, JENS FITZKE & ROLAND M. WAGNER (Hrsg.), 2004: Geodateninfrastruktur. Grundlagen und Anwendungen. Ca. 250 S. Kartoniert. Herbert Wichmann, Hüthig Fachverlage, Heidelberg. Bestellungen: e-mail: kundenservice@huethig.de; ISBN 3-87907-395-3. € 46,00
- WOLFGANG REINHARDT, 2004: Handbuch der Ingenieurgeodäsie – Raumbezogene Informationssysteme. 226 S. Gebunden. Herbert Wichmann, Hüthig Fachverlage, Heidelberg. Bestellungen: e-mail: kundenservice@huethig.de; ISBN 3-87907-294-9. € 58,00
- REINER R. JÄGER, TILMAN MÜLLER, HEINZ SALER u. a., 2004: Klassische und robuste Ausgleichsverfahren. Ein Leitfaden für Ausbildung und Praxis von Geodäten und Geoinformatikern. Ca. 350 S. Kartoniert. Mit CD-ROM. Herbert Wichmann, Hüthig Fachverlage, Heidelberg. Bestellungen: e-mail: kundenservice@huethig.de; ISBN 3-87907-370-8. Ca. € 50,00
- RAINER SANDAU, 2005: Digitale Luftbildkamera. Handbuch für die Praxis. 300 S., Kartoniert/Broschiert. Herbert Wichmann, Hüthig Fachverlage, Heidelberg. Bestellungen: e-mail: kundenservice@huethig.de; ISBN 3-87907-391-0. € 48,00
- VOLKER COORS & ALEXANDER ZIPF (Hrsg.), 2005: 3D-Geoinformationssysteme. Grundlagen und Anwendungen. XXII, 522 S., Softcover mit DVD. Herbert Wichmann, Hüthig Fachverlage, Heidelberg. Bestellungen: e-mail: kundenservice@huethig.de; ISBN 3-87907-411-9. € 66,00
- DIETMAR HERMSDÖRFER, 2005: Generische Informationsmodellierung. Semantische Brücke zwischen Daten und Diensten. IX, 228 S., Softcover. Herbert Wichmann, Hüthig Fachverlage, Heidelberg. Bestellungen: e-mail: kundenservice@huethig.de; ISBN 3-87907-426-7. € 40,00.
- THOMAS LUHMANN (Hrsg.), 2005: Photogrammetrie-Laserscanning-Optische 3D-Messtechnik. Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2005. Herbert Wichmann, Hüthig Fachverlage, Heidelberg. Bestellungen: e-mail: kundenservice@huethig.de; ISBN 3-87907-420-8. € 52,00
- JÖRG ALBERTZ & MANFRED WIGGENHAGEN, 2005: Taschenbuch zur Photogrammetrie und Fernerkundung – Guide for Photogrammetry and Remote Sensing. 5. völlig neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Ca. 300 S. Gebunden. Herbert Wichmann, Hüthig Fachverlage, Heidelberg. Bestellungen: e-mail: kundenservice@huethig.de; ISBN 3-87907-384-8. Ca. € 44,00