

PRG

Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation

Organ der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie
und Fernerkundung e.V.

Jahrgang 2002, Heft 4

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

Schriftleiter:
Prof. Dr. Franz K. List und Dr.-Ing. Eckhardt Seyfert

Redaktionsbeirat (Editorial Board): Jörg Albertz, Hans-Peter Bähr, Manfred F. Buchroithner, Ákos Detreköi, Egon Dorrer, Heinrich Ebner, Manfred Ehlers, Wolfgang Förstner, Dieter Fritsch, Armin Grün, Dierk Hobbie, Joachim Höhle, Hermann Kaufmann, Barbara Koch, Gottfried Konecny, Karl Kraus, Thomas Luhmann, Martien Molenaar, Karl Regensburger, Heinz Schmidt-Falkenberg und Bernhard P. Wrobel



E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung
(Nägele u. Obermiller) Stuttgart 2002



DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR PHOTOGRAMMETRIE
UND FERNERKUNDUNG E.V.
Gegründet 1909

Die *Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung 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:

© 2002 Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung 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.: 0711/625001, Fax: 0711/625005, e-mail: mail@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. Franz K. List, Freie Universität Berlin, Institut für Geologie, Geophysik und Geoinformation, Malteserstr. 74-100, D-12249 Berlin, e-mail, fklist@zedat.fu-berlin.de und Dr.-Ing. Eckhardt Seyfert, Landesvermessung und Geoinformation Brandenburg, Heinrich-Mann-Allee 103, D-14473 Potsdam, e-mail: eckhardt.seyfert@lvermap.brandenburg.de

Erscheinungsweise: 7 Hefte pro Jahrgang.

Bezugspreis im Abonnement: € 86,- 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.: 0711/351456-0; Fax: 0711/351456-99. e-mail: mail@schweizerbart.de

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

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

PFG – Jahrgang 2002, Heft 4

Inhaltsverzeichnis

Originalbeiträge

MAYR, W.: Bemerkungen zum Thema „True Orthoimage“	237
KUNTZ, S. & EBEL, U.: Regionale Kartierung von Sturmschäden in Mitteleuropa	245
KURZ, F., HELLWICH, O. & EBNER, H.: Estimation of Vegetation Parameters from Multispectral Data using Physical Models and Ground Control Measurements	253
PAKZAD, K.: Ein Verfahren zur multitemporalen Interpretation von Vegetationsflächen aus Luftbildern	263
MEINEL, G. & HENNERSDORF, J.: Erhebungsmethoden, Programme und Nomenklaturen der Flächenbedeckung und Flächennutzung	271
MORÉ, J. & TREPTE, S.: Digitale Oberflächenmodelle von Bremsbelägen – Makrophotogrammetrie mit Videokameras	287

Berichte und Mitteilungen

Berichte:

CIPA 2001 – Symposium in Potsdam, 18.–21. 9. 2001	297
5 th Conference Optical 3-D Measurement in Wien, 1.–4. 10. 2001	298
Internationales Symposium in Jönköping am 17. 4. 2002	300
7. Münchner Seminar GIS 2002	302
DIN Norm – Entwurf für digitale Orthophotos	304
New Mapping Horizons from Brazil	305
CREASO – Informationen	305
20 Jahre Autodesk	306
SPOT IMAGE	306
Buchbesprechungen	
G. ECKSTEIN	307
M. MÖSER	308
U. BERNHARDT	309
Zum Titelbild	311
Vorankündigungen	311
Neuerscheinungen	312

der innovative Partner für GEO-Produkte und Dienstleistungen

Die Swissphoto Group AG ist eine grössere Ingenieurunternehmung mit einem Dienstleistungs- und Produkteangebot in nahezu allen Bereichen geographischer Informationsverarbeitung. Die Kerngeschäftsfelder sind Luftbild und Photogrammetrie, Vermessung, Geo-Informationssysteme und Kartographie. Mit ca. 120 Mitarbeitern sind wir in der Schweiz vertreten und an verschiedenen Unternehmen im In- und Ausland beteiligt.

Für unseren Hauptsitz in Regensdorf bei Zürich suchen wir per sofort oder nach Vereinbarung

Operateure Photogrammetrie / CAD / Bildverarbeitung

mit folgenden Qualifikationen:

- Kenntnisse in der Photogrammetrie
- Erfahrung mit analytischen und digitalen Auswertegeräten
- Kenntnisse mit CAD-Systemen
- Interesse im Umfeld IT
- selbständiges und verantwortungsbewusstes Arbeiten

Wir bieten Ihnen, nebst Arbeiten in einem jungen und dynamischen Team, moderne Arbeitsstationen und die Mitarbeit in nationalen und internationalen Projekten.

Haben wir Ihr Interesse geweckt? – Dann richten Sie Ihre Bewerbungsunterlagen bitte an:

Swissphoto AG, Frau R. D'Angelo/Personal, Dorfstrasse 53, Postfach, CH-8105 Regensdorf-Watt
E-Mail: rosetta.dangelo@swissphoto.ch www.swissphoto.ch

Universität Karlsruhe (TH)

Das Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung sucht zum 01.01.2003 eine/n

Wissenschaftliche/n Mitarbeiter/in

für folgende Aufgaben:

- selbstständige Durchführung von Vorlesungen und Übungen in den Fächern ‚Fernerkundung‘ und ‚Digitale Bildverarbeitung‘
- Betreuung von Studienarbeiten und Diplomarbeiten
- Akquisition von Drittmittelprojekten in Fernerkundung und Bildverarbeitung
- Mitarbeit und Anleitung wissenschaftlicher Mitarbeiter/innen bei der Durchführung von Forschungsprojekten

Geboten werden:

- eine Stelle nach BAT IIa/Ib für zunächst 2 1/2 Jahre mit der Möglichkeit der Weiterführung als Planstelle des Instituts
- die Mitarbeit in einem kleinen, überschaubaren Team
- die selbstständige Bearbeitung aktueller Forschungsaufgaben

Die Mitarbeiterin/der Mitarbeiter sollte promoviert sein und Erfahrung in den Fächern ‚Digitale Bildverarbeitung‘ und ‚Fernerkundung‘ haben. Möglichkeit zur Habilitation ist gegeben. Die Hochschule ist bestrebt, den Anteil an Frauen im wissenschaftlichen Dienst zu erhöhen und begrüßt deshalb besonders die Bewerbung von Frauen. Schwerbehinderte Bewerber/innen werden bei entsprechender Eignung bevorzugt berücksichtigt.

Anfragen oder Bewerbungen werden baldmöglichst an das Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Universität Karlsruhe (TH), Englerstr. 7, D-76128 Karlsruhe, Tel. (0721) 608-2315, Fax (0721) 608-8450, z. Hd. von Prof. Dr. H.-P. Bähr, oder per Email an baehr@ipf.uni-karlsruhe.de, erbeten.

Bemerkungen zum Thema „True Orthoimage“

WERNER MAYR, Stuttgart

Einleitung: In vielen GIS-Anwendungen bereichern Bilder die Präsentation. Oft nutzt man sie als Hintergrund zur Datenerfassung für und in GIS. Im geometrischen Sinn besitzen solche Bilder eine definierte, homogene Geometrie. Es sind Orthophotos. Diese werden seit Jahrzehnten mit immer größer werdender Nachfrage nach Qualität und Quantität produziert. Die genauesten und damit qualitativ hochwertigsten Orthophotos sind so genannte True OrthoImages (TOI), deren Bedeutung und Erzeugung in diesem Artikel beschrieben werden.

Abstract: *Remarks to the topic "True Orthoimage".* Images in the background enrich in many GIS applications their data presentation and visualization. Often they are used for data capturing. Geometrically such images possess a defined, homogeneous geometry. They are orthophotos. This article presents some remarks to "True Orthoimages", which represent the highest level of geometric accuracy and completeness. It shortly points out the most important technological development stages of orthoprojection and concentrates then on the explanation of a possible technique to generate true orthoimages. Several examples are presented and discussed. True orthoimages appear to become of interest. They require a more distinct digital description of the surface envelope. In general this is a digital surface model of the relevant part of the earth and has topographic surface and man-made objects modeled in one data set. The article concludes with the description of an application example.

Die Anfänge

Ursprünglich leitete man Orthophotos aus Luftbildern ab. Daher bürgerte sich schnell der Name „Orthophotos“ ein. Dieser Begriff ist jedoch insofern irreführend, als dass es konstruktiv gesehen keinen „Ortho-Photoapparat“ geben kann sondern lediglich Ortho-Projektoren. In den Anfängen projizierte man Luftbilder aus ihrer Bildebene in eine Objektebene um. Dies war gleichsam das „analoge Zeitalter“ und die Methode wurde „Entzerrung“ genannt. Mit der Einführung analytischer Geräte, d. h. durch Servomotoren angetriebene optomechanische Geräte mit Computersteuerung, erreichte man die nächste Qualitätsstufe. Die bisher durch einen einzigen Belichtungsvorgang vollzogene und mechanisch gesteuerte analoge Umprojektion wurde durch eine Se-

rie, computergesteuerter, örtlich sehr begrenzter und geometrisch aneinander gereihter Belichtungen des immer noch analogen Orthophotobildträgermaterials ersetzt. Digitale Geländemodelle (DGMs) waren zur Steuerung dieser „analytische Orthoprojektoren“ genannten Umbildegeräte notwendig. Man nannte diese Methode „differenzielle Entzerrung“. Beide Verfahren, analoge wie analytische Orthoprojektion, waren exklusiv auf die Umbildung von Luftbildern in Orthophotos ausgerichtet.

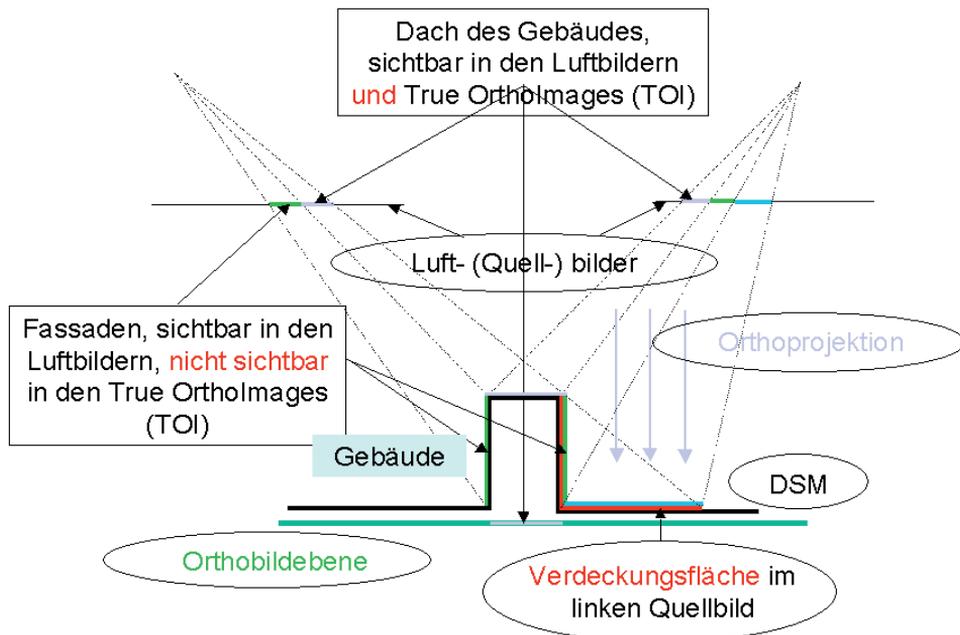
Mit der Einführung gescannter Luftbilder verbreitete sich die „digitale Orthoprojektion“ recht erfolgreich und schnell. Seither stößt man öfter auf den Begriff „Orthobild“, denn das primäre Speichermedium für das Orthobild ist digital und nicht mehr der analoge Film. Im Gegensatz zu den bisherigen Verfahren können in der digitalen Ortho-

projektion Quellbilder mit verschiedenen Abbildgeometrien verwandt werden. Zudem können wesentlich dichtere und damit oftmals genauere DGMs angewandt werden, was eine Qualitätsverbesserung gegenüber der analytischen Orthoprojektion bedeutet. Weiterhin erhöhte sich die Produktionsgeschwindigkeit beträchtlich. Das wahre Potenzial digitaler Orthoprojektion wurde jedoch noch nicht voll ausgeschöpft. Über alle bisher erwähnten Entwicklungsstufen der Orthoprojektion hinweg blieb ein die Qualität des Orthophotos oder Orthobildes beeinträchtigender Effekt der Methode, auch Artfakt genannt, gleichsam inhärent bestehen. Von Menschenhand geschaffene Objekte wie z. B. Häuser und Brücken oder Ähnliches aber auch Wälder sind nicht richtig, d. h. nicht in ihrer Grundprojektion, in Orthophotos abgebildet. Der Grund für den Artfakt ist, dass DGMs nur die topographische Erdoberfläche beschreiben, ohne die von Menschenhand geschaffenen Objekte und Wälder zu beinhalten. Dies wäre jedoch

notwendig, um den Artfakt zu vermeiden. Ein DGM plus Modellierung künstlicher Objekte ergibt ein Digitales Oberflächenmodell (DOM, engl. Digital Surface Model = DSM). Dies ist der Schlüssel zu Orthobildern höchster Qualität.

Das heutige Verfahren

Wenn man eine fehlerfreie Georeferenz des Quellbildes, z. B. eines Luftbildes oder Satellitenbildes, annimmt, dann ist die Orthoprojektion praktisch so genau wie das zu Grunde liegende Oberflächenmodell. Was genau beinhaltet das Oberflächenmodell? Bisher wurden und werden in noch fast allen Institutionen „topographische“ digitale Geländemodelle erfasst. Solche Geländemodelle schließen jedoch künstliche Objekte ausdrücklich aus. Stereo-Operateure wurden/werden angehalten, bei der Erfassung topographischer Geländeoberflächen in Waldgebiete „einzutauchen“ und Gebäude zu „durchmessen“, quasi je nach Erfahrung



► ©2002 Inpho GmbH

Abb. 1: Orthoprojektionsschema.

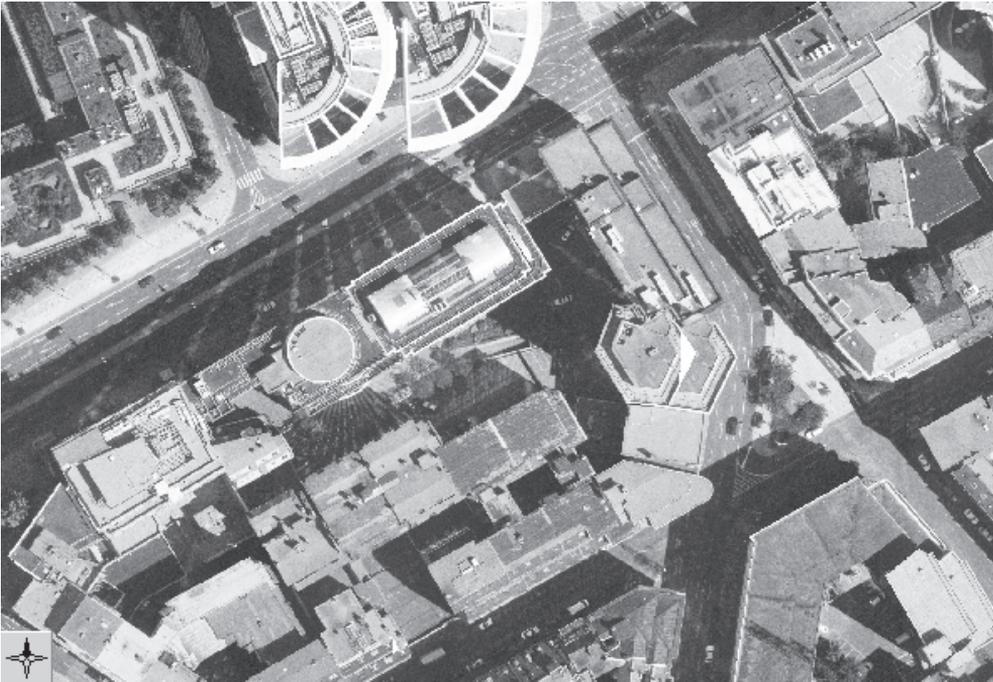


Abb. 2: Mehrfachabbildung durch Benutzung eines topographischen Geländemodells ohne Berücksichtigung von sichttoten Bereichen in einer Stadt.

und Bodenbeschaffenheit, womit das DGM mit einer gewissen Subjektivität behaftet war. Abb. 1 zeigt das Orthoprojektionsschema, welches eine senkrechte Parallel-Projektion ist.

Es wird klar, dass verdeckte Gebiete durch fremde, d. h. falsche, Bildinhalte abgebildet werden können. In Abb. 1 überdeckt das blaue Dach auch das horizontale Verdeckungsgebiet des Digitalen Oberflächenmodells im linken Luftbild. Ist das Gebäude nicht Bestandteil des während der Orthoprojektion benutzten Oberflächenmodells, verursacht diese „nicht-existente“ Geometrieinformation einen Fehler oder Artefakt. Ein Artefakt ist die Mehrfachabbildung (Geisterbild). Dieser erfolgt, wenn nur ein Quellbild zur Verfügung steht und die Software zur Orthobilderzeugung sichttote Bereiche nicht erkennt. Das Orthobild in Abb. 2 zeigt doppelt abgebildete Gebäude-teile. Diesem Beispiel liegt ein topographisches Geländemodell zu Grunde, d. h. Häuser sind nicht enthalten, wodurch im Ortho-

bild eigentlich sichttote Bereiche, gleichermaßen „Informationslöcher“, mit Quellbildinhalt fälschlicherweise aufgefüllt werden.

Die Brücke im Orthobild in Abb. 3, die sich eigentlich geradlinig über das Tal erstreckt, wird verzerrt dargestellt und folgt dem topographischen Oberflächenmodell, also dem Boden, während der Schatten der Brücke korrekt im Orthobild angezeigt wird und der topographischen Oberfläche folgt.

Elimination von künstlichen Objekten

Um solche Artefakte zu überwinden, ist die Verwendung eines DOM notwendig, welches die von Menschenhand geschaffenen Objekte und Wälder mit einschließt. Das DOM findet dabei zweierlei Einsatz. Zum einen substituiert es das bisherige DGM in der Phase der geometrischen Umprojektion. Zum anderen dient es der Analyse und dem Auffinden sichttoter Bereiche, auch „verdeckte Bereiche“ genannt, wobei eine Art



Abb. 3: Auf DGM basierendes Orthobild mit „fehlplatzierter“ Brücke und korrekt verlaufendem Schatten.

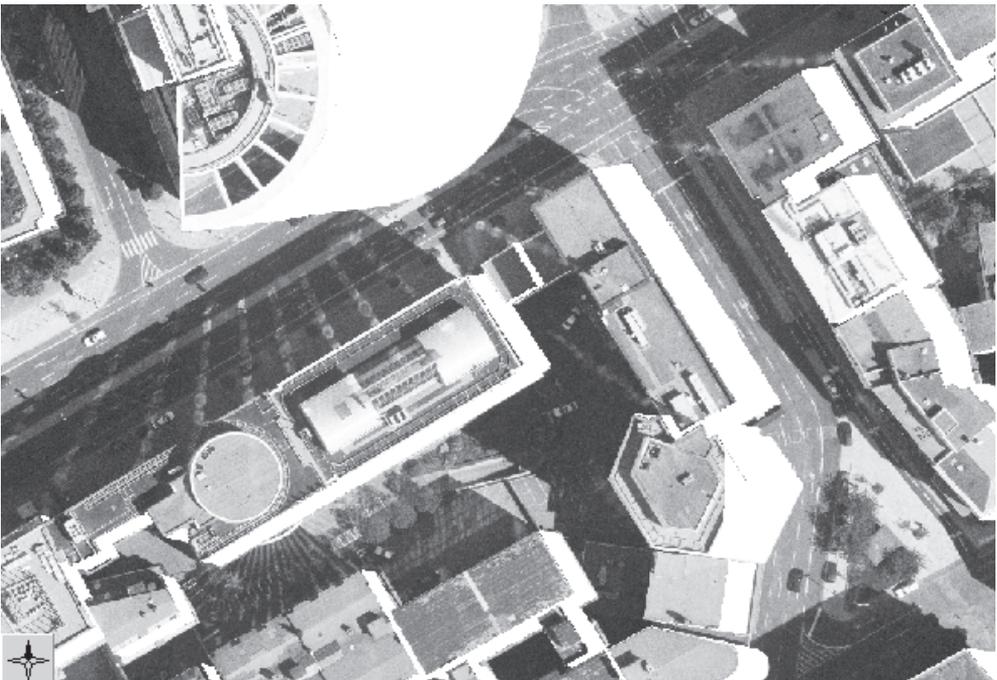


Abb. 4: „Ehrliches Orthobild“ mit weiß markierten verdeckten Gebieten.

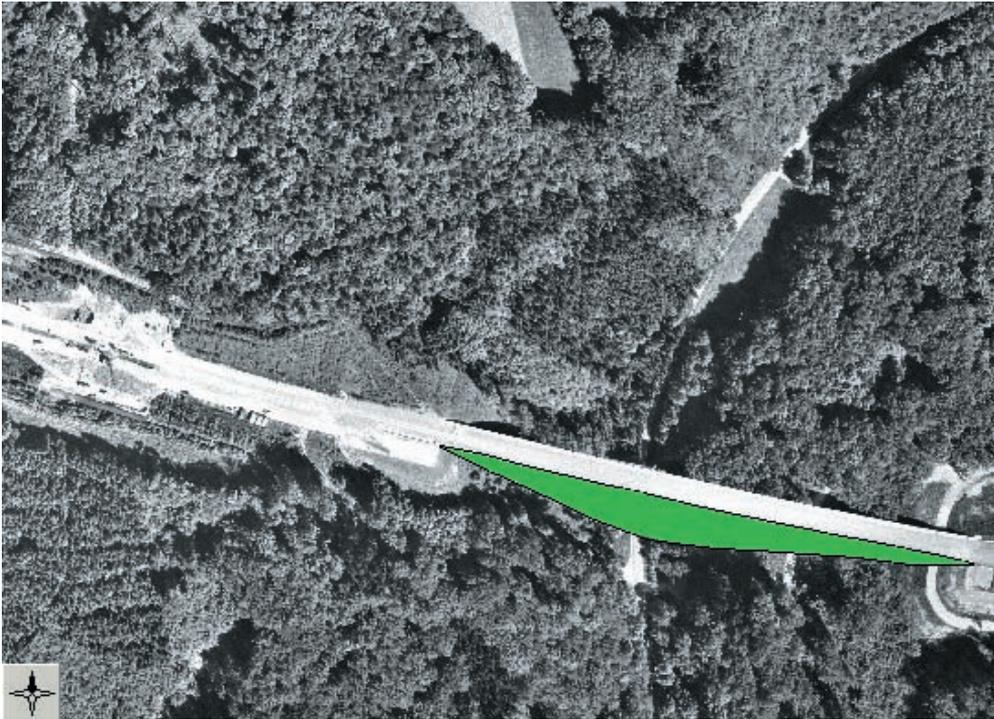


Abb. 5: „Ehrliches Orthobild“ einer Brücke mit grün markiertem Verdeckungsgebiet.

inverse Strahlverfolgung vom Objektraum in den Bildraum stattfindet. Ausgehend von *einem* (1) Quellbild mit zugehörigem DOM ist es möglich, Verdeckungsgebiete im Orthobild zu markieren, jedoch nicht verdeckte Bereiche mit „richtigem Orthobildinhalt“ aufzufüllen. Ein solches Orthobild kann man als „ehrlisches“ Orthobild“ betrachten, da es geographisch das richtig, also „ehrllich“, zeigt, was vom Augpunkt des Quellbildes aus sichtbar war, siehe Abb. 4. Abb. 5 markiert in grün das vorab bestimmte Verdeckungsgebiet der Brücke.

Wahre Orthobilder oder True Ortho-Images

Jedoch wären derartige Orthobilder mit „weissen Flecken“ zwar „richtig“ aber nicht ästhetisch und natürlich inhaltlich nicht vollständig. Daher sind die weissen Flecken mit richtigem Orthobildinhalt möglichst automatisch aufzufüllen. Mit einem DOM und mehreren Quellbildern von verschiede-

nen Aufnahmeorten, z. B. von einem Luftbildblock, kann man mehrere einander überlappende „ehrlliche“ Orthobilder erzeugen. Die weissen Flecken in Überlappungsgebieten werden durch richtigen Orthobildinhalt überlagernder Orthobilder mittels Mosaikierung automatisch ersetzt. Es entsteht ein synthetisches, da künstlich aus mehreren einzelnen Orthobildern erzeugtes neues Orthobild, eigentlich ein Orthomosaik. Dieses bezeichnet man als „wahres Orthobild“ (engl. „True Orthoimage“ = TOI). Es ist „wahr“, denn in ihm sind von Menschenhand erschaffene Objekte „wahrlich“ senkrecht projiziert und Verdeckungsgebiete mit wahren Orthobildinhalt aufgefüllt.

Wo die Bestimmung von Sichtlinien für bereits identifizierte Verdeckungsgebiete zu Quellbildern mit „gültigen“ Bildinhalten führt, können Verdeckungsgebiete ersetzt werden. Bei den TOIs in den Abb. 6 und 7 fand die Anwendung von DOMs und die automatische Ersetzung von Verdeckungsgebieten statt. Die Gebäude in Abb. 6 wer-

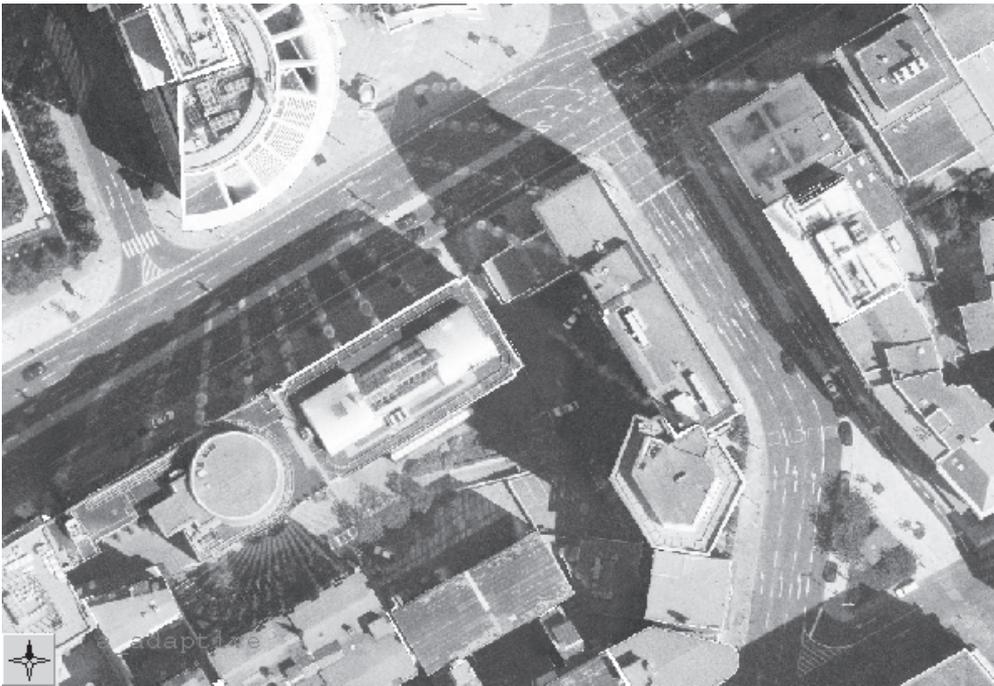


Abb. 6: True Orthoimage eines Innenstadtbereiches mit automatisch ersetzten Verdeckungsbereichen.

den senkrecht auf die Orthobild-Ebene projiziert, vergleiche das Prinzip in Abb. 1.

Ein genauer Blick auf Abb. 6 zeigt, dass Gebäude aus mehreren 3D Grundstrukturen zusammengesetzt sind, denn nicht richtig erfasste oder modellierte können auch weiterhin zur Abbildung der vertikalen Fassaden führen, wie dies im Falle des in ein Gebäude integrierten aber nicht modellierten Rundturms im linken unteren Quadranten in Abb. 6 ersichtlich ist. Die wahre Orthoprojektion behandelt auch die Brücke korrekt, wie in Abb. 7 zu sehen ist. Da für obige Beispiele Luftbildblöcke mit in den Verdeckungsbereichen einander überlappenden Quellbildern vorhanden waren, konnten diese automatisch durch richtige Orthobildinhalte ersetzt werden.

Anwendungen in der Produktion

Um die Erzeugung von TOI in eine Produktionsumgebung zu integrieren, benötigt man entsprechende Softwareprodukte und aufeinander abgestimmte Abläufe. OrthoBox

von INPHO ist darauf vorbereitet, TOIs zu erzeugen und folglich DOMs entsprechend verarbeiten zu können, siehe www.inpho.de. Alle oben angeführten Beispiele wurden mittels OrthoBox produziert, welches aus den beiden Einzelapplikationen OrthoMaster für die Orthobilderzeugung und OrthoVista für die Mosaikierung besteht; beide Einzelapplikationen kann man inklusive Dokumentation als Demoversionen von www.inpho.de per download erhalten.

In OrthoMaster importiert man neben den georeferenzierten Quellbildern und dem DGM 3D-modellierte Objekte, d. h. Häuser und Brücken. Während der Orthobildberechnung vereint OrthoMaster diese mit dem gegebenen DGM. Das daraus resultierende DOM ermöglicht die Erzeugung von „ehrlichen“ Orthobildern mit den besagten weissen Flecken. Anschließend übernimmt OrthoVista die Mosaikbildung aus benachbarten oder überlappenden Orthobildern. Dabei interpretiert es die weissen Flecken als Verdeckungs-Codes und übernimmt automatisch richtige Orthobildinhalte aus

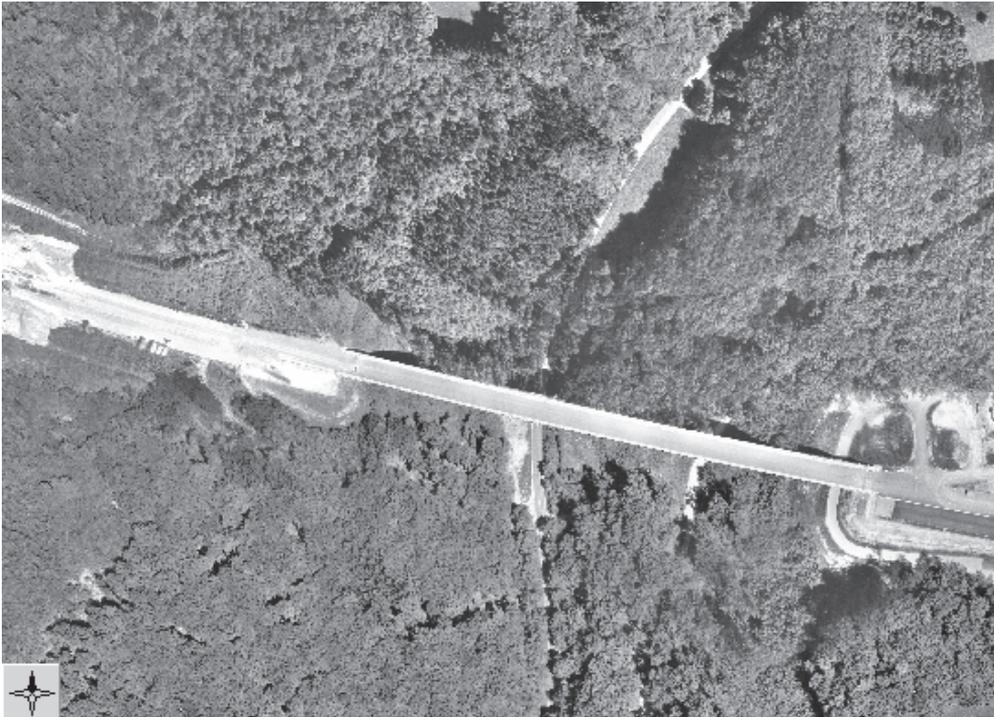


Abb. 7: True Orthoimage einer Brücke mit automatisch ersetzttem Verdeckungsbereich.

anderen Orthobildern. So entsteht das True OrthoImage.

Die eigentlichen Herstellungskosten von TOI verursacht jedoch die Datenerfassung von 3D-Objekten wie z. B. von Häusern und Brücken. Dies muss derzeit entweder zeit- aufwändig von Stereooperatoren erledigt werden oder kann durch einen entsprechend bearbeiteten Datensatz einer dichten Laser-scannerbefliegung ersetzt werden. Beide Ansätze sind kostenintensiv. Nachdem es sich bei den „Objekten von Menschenhand“ überwiegend um Häuser handelt, kann man versuchen, diese kostengünstiger zu erfassen. Hierzu kann man die halbautomatische Erfassung von georeferenzierten 3D-Drahtgittermodellen von Häusern einsetzen. Die Anwendung inJECT von INPHO bietet den Ansatz der halbautomatischen Merkmals-Extraktion von 3D-Drahtgittermodellen von Gebäuden. Da zur Anwendung von inJECT weder spezielle stereofähige Computerhardware noch hochspezialisierte, erfahrene Stereooperatoren notwendig sind,

kann die halbautomatische Merkmalsextraktion Datenerfassungskosten reduzieren helfen.

Schlussbemerkungen

True Orthoimages sind Ortho-Mosaiken, die den Objektraum vollständig in senkrechter Parallelprojektion darstellen. Für die Erzeugung von TOIs benötigt man a) einen Satz georeferenzierter Quellbilder mit vollständiger Sichtbarkeit der Objektoberfläche, b) ein DOM und c) die korrekte geometrische und radiometrische Bearbeitung von Verdeckungsgebieten. Die Datenerfassung der künstlichen Objekte verursacht den Löwenanteil der Herstellungskosten für ein TOI, was sie gegenüber „klassischen“ Orthobildern“ vermutlich verteuert. Für die verstärkte Einführung und Anwendung von TOI erscheint es essentiell, dass man Verfahren findet, die erfolgreich die Herstellungskosten bei der DOM-Datenerfassung reduziert. TOIs stellen eindeutig den höchsten

Qualitätsstandard für Orthobilder dar. Ihr Einsatz in anderen Anwendungen wie z. B. GIS wird deren Qualität steigern helfen. Allerdings gilt es zu berücksichtigen, dass bei der konsequenten Anwendung von TOIs die Fassaden der Häuser „verloren“ gehen und somit auch ein gewisser 3D-Eindruck in Orthobildern. Jedoch sind Orthobilder von Natur aus 2D und nur TOIs erfüllen diese Eigenschaft zu wahrlich 100%.

Anschrift des Verfassers:

Dr.-Ing. WERNER MAYR

inpho GmbH, Smaragdweg 1, D-70174 Stuttgart,

e-mail: werner.mayr@inpho.de

www.inpho.de

Manuskript eingereicht: Mai 2002

Angenommen: Mai 2002

Regionale Kartierung von Sturmschäden in Mitteleuropa

STEFFEN KUNTZ & ULRICH EBEL, München

Summary: *Regional Storm Damage Mapping in Central Europe.* Damage due to storms in the highly populated regions of Central Europe is not as a rule visible to the eye from outer space. However, it is now considered operationally practicable to identify storm damage in large wooded areas from multi-temporal satellite data. The only conditions that need to be fulfilled are that the damaged wooded areas have to be of an adequate size (several acres) and that good-quality satellite data (i. e. as little cloud cover as possible) from before and after the event must be available. Detected in this way, storm damage in wooded areas can be used to derive the spatial distribution of the damage patterns and hence the regional features of the (gusty) wind field in an extensive area. At the same time, this method yields an indicator that can make it possible to estimate the damage potential in adjacent population centres that naturally harbour a much higher financial risk. With this in mind, Swiss Re Germany AG contracted RSS – Remote Sensing Solutions GmbH to compile a regional map of the wooded areas severely damaged by hurricane “Lothar” (on 26.12.1999). On the basis of 4 Landsat TM and ETM images – captured before and after the storm – an area of over 100,000 km² was mapped. All the results were converted to ARC-View™ so as to be available for further modelling in conjunction with wind measurements and in-house insurance data.

Zusammenfassung: Schäden durch Stürme in Siedlungsgebieten sind in Mitteleuropa in der Regel vom Weltraum aus nicht direkt erkennbar. Dagegen kann die Erfassung von Sturmschäden in größeren Waldgebieten aus multitemporalen Satellitendaten als weitgehend operationell gelten. Die einzigen Bedingungen, die gegeben sein müssen, sind zum einen eine entsprechende Größe der geschädigten Waldbestände (mehrere ha) und zum anderen das Vorhandensein von qualitativ guten (d. h. möglichst wolkenfreien) Satellitendaten vor und nach dem Ereignis. Dadurch sind Sturmschäden in Wäldern geeignet, um über die räumliche Verteilung der Schadensmuster die regionalen Ausprägungen des (Böen-) Windfelds in einem größeren Gebiet abzuleiten. Gleichzeitig erhält man einen Indikator, der es ermöglichen sollte, das Schadenspotenzial in benachbarten Siedlungsgebieten abzuschätzen, die naturgemäß ein vielfach höheres finanzielles Risiko aufweisen. Die Swiss Re Germany AG beauftragte deshalb die Firma RSS – Remote Sensing Solutions GmbH mit einer regionalen Kartierung der durch den Orkan „Lothar“ (am 26.12.1999) stark geschädigten Waldflächen. Auf der Basis von 4 Landsat TM und ETM Szenen – jeweils vor und nach dem Sturm aufgenommen – wurde eine Fläche von mehr als 100 000 km² kartiert. Alle Ergebnisse wurden in ARC-View™ überführt, um für weitere Modellierungen mit Windmessungen und internen Versicherungsdaten zur Verfügung zu stehen.

Einführung

Im Dezember 1999 wurde Europa von einer Reihe von schweren Winterstürmen heimgesucht, die versicherte Schäden von ca. 11 Milliarden Euro und einen geschätzten Gesamtschaden in nahezu doppelter Höhe verursachten. Zusätzlich waren weit über 100 Tote und viele Verletzte zu beklagen, die ent-

weder direkt durch die Stürme oder indirekt während der anschließenden Aufräumarbeiten zu Schaden kamen. Speziell der Sturm „Lothar“ am 26.12.1999 nahm rekordverdächtige Schadensausmaße an: Innerhalb eines West-Ost-Korridors, der sich über mehr als 1000 km von der Britischen Küste bis nach Deutschland und der Schweiz erstreckte (Abb. 1), kam es zu Ver-

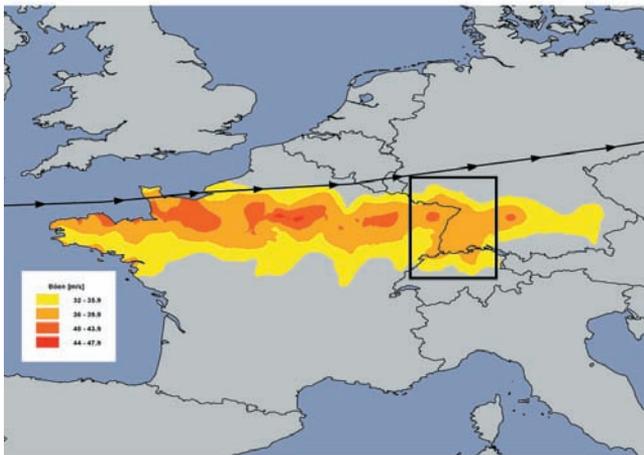


Abb. 1: Das (Böen-)Windfeld von „Lothar“. Das eingezeichnete Quadrat gibt das Untersuchungsgebiet der Studie an, das Teile von Frankreich, Deutschland und der Schweiz umfasst.

sicherungsschäden von ca. 6,2 Milliarden Euro und einem Anfall an gebrochenem Holz von etwa 110 Mio. m³.

Nach einer derartigen Katastrophe ist es für die Versicherungsindustrie von großer Wichtigkeit, Informationen über das Schadensausmaß und die Lokalisierung von besonders betroffenen Siedlungsgebieten so rasch als möglich zu erhalten, da die Schadenmeldungen durch die Betroffenen häufig mit längeren Verzögerungszeiten eintreffen. Im Falle von „Lothar“ brauchte es mehr als ein halbes Jahr, bis sich die Schätzungen der Schadenssummen stabilisierten. Falls genaue meteorologische Messungen in genügender Anzahl zur Verfügung stünden, wäre eine frühe Schadensschätzung auf regionaler Ebene möglich. Leider ist zurzeit die Dichte des meteorologischen Messnetzes für die Modellierung lokaler Windfelder nicht ausreichend. Anstelle solcher Messungen bietet die Fernerkundung eine Reihe von Möglichkeiten, große Gebiete rasch zu erfassen, die von der Kartierung einzelner Häuser in Luftbildern bis hin zu regionalen Übersichtsdarstellungen auf der Basis von Satellitendaten reichen kann. Bei so großflächigen Schäden, wie sie „Lothar“ anrichtete, ist jedoch normalerweise der Einsatz von Luftbildern aus ökonomischen und zeitlichen Gründen nicht möglich.

Nachdem in früheren Untersuchungen (KUNTZ & ZIMMERMANN 1993) bereits festgestellt worden war, dass sich größere

Sturmschäden in Waldbeständen aus Satellitendaten rasch und – für regionale Anwendungen – auch mit ausreichender Genauigkeit effektiv erfassen lassen, beauftragte die Swiss Re Germany AG die Firma RSS – Remote Sensing Solutions GmbH – damit, eine regionale Kartierung der geschädigten Wälder im Grenzgebiet von Frankreich, Deutschland und der Schweiz zu erstellen. Ziel der Studie war, die Ergebnisse für folgende versicherungstechnische Aufgaben nutzbar zu machen:

1. zur Korrelation der geschädigten Waldbestände mit gemeldeten Schäden an Gebäuden, um abzuschätzen, ob diese Vorgehensweise als einfacher Indikator für Schäden in Siedlungsgebieten geeignet ist.
2. als Indikator von lokalen Windgeschwindigkeiten und Turbulenzen unter Verwendung der Größe und der Verteilung geschädigter Waldbestände mit dem Ziel der Verbesserung lokaler Windmodelle.
3. zur Korrelation der geschädigten Waldbestände mit digitalen Geländemodellen und internen Versicherungsdaten zur Optimierung regionaler Risikomodelle.

Methodik der Sturmschadenskartierungen

Die eingesetzte Methodik zur Kartierung der regionalen Sturmschadensmuster in Wäldern umfasste die folgenden Arbeitsschritte:

1. Arbeitsschritt: Auswahl geeigneter Satellitendaten

In Mitteleuropa treten die meisten schadenträchtigen Stürme im Herbst und Winter auf. In dieser Jahreszeit ist der Sonnenstand zum Zeitpunkt der Aufnahme (bei Landsat ca. 10.30 h MEZ) relativ niedrig. Hinzu kommt, dass länger andauernde Schönwetterperioden selten sind und damit optische Sensoren mit längeren Orbitzyklen (z. B. Landsat 16 Tage) häufig Probleme bei der Datenakquisition haben. Im Winter 1999 war genau dies der Fall. Deshalb war es nicht möglich, rasch vor und nach dem 26. 12. 1999 wolkenfreie Aufnahmen zu er-

Tab. 1: Überblick über die eingesetzten Satellitenszenen.

Sensor	Path / Row	Aufnahmedatum
Landsat 7 ETM	196 / 26 & 27	02. 09. 99
Landsat 5 TM	195 / 26 & 27	11. 09. 99
Landsat 5 TM	195 / 26	13. 03. 00
Landsat 7 ETM	195 / 27	21. 03. 00
Landsat 7 ETM	196 / 26 & 27	15. 05. 00

halten, die das Gesamtgebiet (der Oberrheingraben bis etwa Höhe Mannheim mit angrenzenden Regionen in Frankreich, Deutschland und der Mittelschweiz) abdeckten. Dies traf auf die Systeme SPOT, IRS und Landsat gleichermaßen zu. Die einzigen wolkenfreien Satellitenszenen, die möglichst kurz vor und nach dem Sturm verfügbar waren, stammten von Landsat 5 und 7. Tab. 1 gibt einen Überblick über die ausgewählten und verwendeten Szenen.

2. Arbeitsschritt: Kalibrierung, Geokodierung und Mosaikierung

Alle Satellitenszenen wurden über Standardverfahren – die von dem Bildverarbeitungssystem ERDAS Imagine™ bereitgestellt werden – so weit wie es aus ökonomischen und Zeitgründen angebracht war, untereinander relativ angepasst und standardisiert. Dies umfasste eine Reduktion des Dunstschleiers (dehazing) sowie eine Histogrammanpassung. Danach erfolgte die Georeferenzierung auf UTM Projektion über Passpunkte. Da als Zielgröße der end-

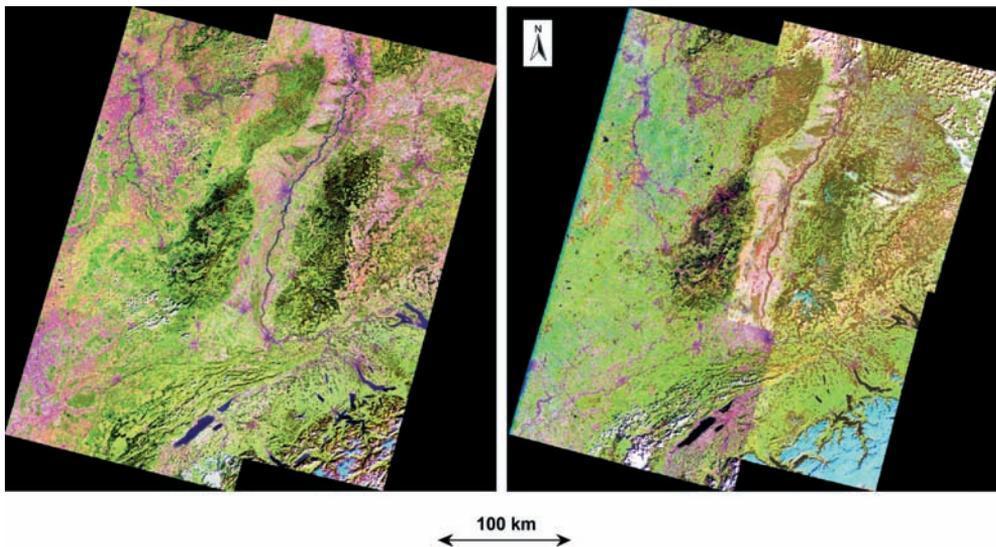


Abb. 2: Bildmosaike von jeweils 4 Landsat Szenen (Kanalkombination 5,4,2 RGB) vom September 1999 (links) und vom März/Mai 2000 (rechts). Die Unterschiede in der Farbdarstellung im rechten Bild stammen von saisonalen Unterschieden, die durch das Wachstum der Vegetation zwischen März (östlicher Orbit) und Mai (westlicher Orbit) hervorgerufen werden. In dunkelgrünen Farben bilden sich gut die Waldflächen des Pfälzer Walds und der Vogesen im Westen sowie des Schwarzwalds im Osten ab.

gültigen Karte der Maßstab 1:200000 war, wurden deutsche, französische und Schweizer topographische Karten in den Maßstäben 1:50000 und 1:100000 für die Bestimmung der Passpunkte herangezogen. Zusätzlich wurde auch das internationale, frei verfügbare USGS-Geländemodell für die Reduzierung von Lagefehlern in den Mittelgebirgen eingesetzt. Da allein die Passpunktbestimmung über die Ländergrenzen hinweg sehr aufwändig war, benötigte dieser Arbeitsabschnitt mehr als zwei Drittel des Gesamtaufwands der Kartierung (ca. 2 Mannwochen). Danach erfolgte die Mosaikierung aller Szenen für die weitere Interpretation. Als Resultat dieser Arbeiten lag ein homogener Datensatz des Gesamtgebiets vor, bestehend aus jeweils 4 Landsat-Szenen vor und nach dem Sturm (Abb. 2).

3. Arbeitsschritt: Generierung einer „Waldmaske“

Um mögliche Klassifizierungsfehler bei der thematischen Kartierung von vornherein so weit wie möglich zu reduzieren und gleichzeitig den Datensatz und damit den Analyseaufwand zu minimieren, wurde für das Gesamtgebiet eine binäre „Waldmaske“ erstellt. Dazu wird in einem neuen Datenlayer

allen Waldflächen der Wert 1 und allen Nichtwaldflächen der Wert 0 zugewiesen. Das Verfahren wurde von SCHARDT 1990 beschrieben. Im vorliegenden Fall musste es allerdings in einigen Punkten modifiziert und verbessert werden, da Wasserflächen und Schatten sonst zu einer Überschätzung der Waldflächen geführt hätten. Es nutzt die Tatsache, dass Waldflächen in den Landsat-Kanälen 2 und 3 die dunkelsten Grauwerte aufweisen. Über ein einfaches Schwellwertverfahren wird dann für jeden der beiden Spektralkanäle iterativ ein Schwellwert festgelegt, der die dunklen Waldflächen von allen helleren Bildteilen trennt. Zusätzlich muss für alle Wasserflächen noch ein dritter Binär-Layer generiert werden. Dieser ergibt sich nach folgendem Verfahren: falls $(TM\ 5) < (TM\ 2) - C$ dann wird einem Pixel der Wert 0 zugewiesen, während in allen anderen Fällen der Wert 1 zugewiesen wird. Dabei stehen TM 5 bzw. TM 2 für die entsprechenden spektralen Bänder des Landsat 5 bzw. 2 und C entspricht einem empirisch erhobenen Korrekturfaktor. Wasserflächen werden demnach mit Nullwerten maskiert.

Durch Multiplikation von allen drei Binärlayern werden Waldflächen eindeutig als solche erkannt und mit dem Wert eins maskiert. Eine erneute Multiplikation mit den

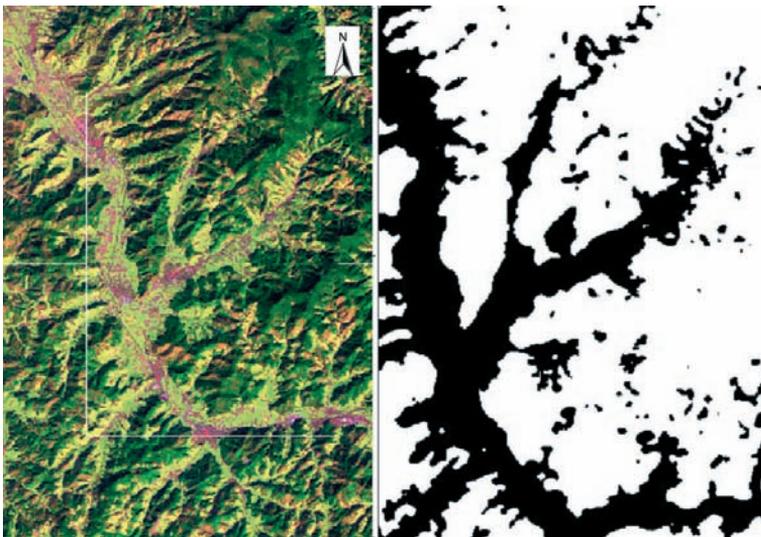
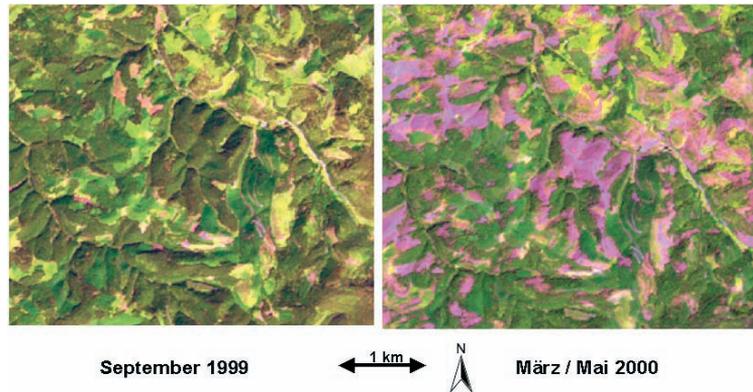


Abb. 3: Vergleich der binären Waldmaske mit den Originaldaten in einem Ausschnitt aus dem mittleren Schwarzwald, nahe Offenburg.

Abb. 4: Vergleich der Situation vor und nach dem Sturm in einem Teil des Hauptschadensgebiets in den Nordvogesen, Frankreich (Landsat 7 ETM, Bandkombination 4,5,3, RGB). Die violetten Flächen in den vormals intakten Wäldern sind Sturm-schadensflächen.



Originaldaten ergibt dann die endgültige Waldmaske. Die Berechnung erfolgte mit Hilfe des Spatial Modelers von ERDAS Imagine™.

Danach wurde die Waldmaske mit einem 7 × 7 Majoritätsfilter geglättet, da die Vorgabe war, nur Flächen über 4 ha Größe zu kartieren. Kleinere Gehölze wurden dadurch bewusst eliminiert. Die Überprüfung der Waldmaske erfolgte stichprobenartig mit Hilfe topographischer Karten im Maßstab 1:50 000 und durch einen Vergleich mit dem CORINE-Datensatz von Deutschland. Dabei konnte nachgewiesen werden, dass die Genauigkeit des Verfahrens für den geforderten Kartiermaßstab 1:200 000 mehr als ausreicht und die Qualität der CORINE-Daten übertrifft. Auf Baden-Württemberg bezogen war die resultierende Waldfläche mit den Angaben der Forstverwaltung bis auf eine Nachkommastelle identisch.

4. Kartierung der Schäden

Da nur der regionale Aspekt und die größeren Schäden für die Swiss Re Germany interessant war, wurde als untere Grenze einer zu erfassenden Schadfläche 4 ha vorgegeben. Zunächst wurde versucht durch eine unüberwachte Klassifizierung des mul-

titemporalen Datensatzes innerhalb der maskierten Waldflächen alle Schadflächen automatisch zu erkennen. In dem Märzorbit kam es aber infolge von Schneeflächen, Wolken und stärkeren Dunstschleiern zu einer örtlich starken Überschätzung der Schäden, während auf den Nord- und Osthängen der Mittelgebirge eine generelle Unterschätzung erfolgte. Deshalb konnte das Ergebnis dieser Klassifizierung nur als erste Näherung an die wahren Schadflächen dienen; quasi als Warninformation zu einem potenziellen Schaden, der allerdings noch zu verifizieren bzw. zu verändern war.

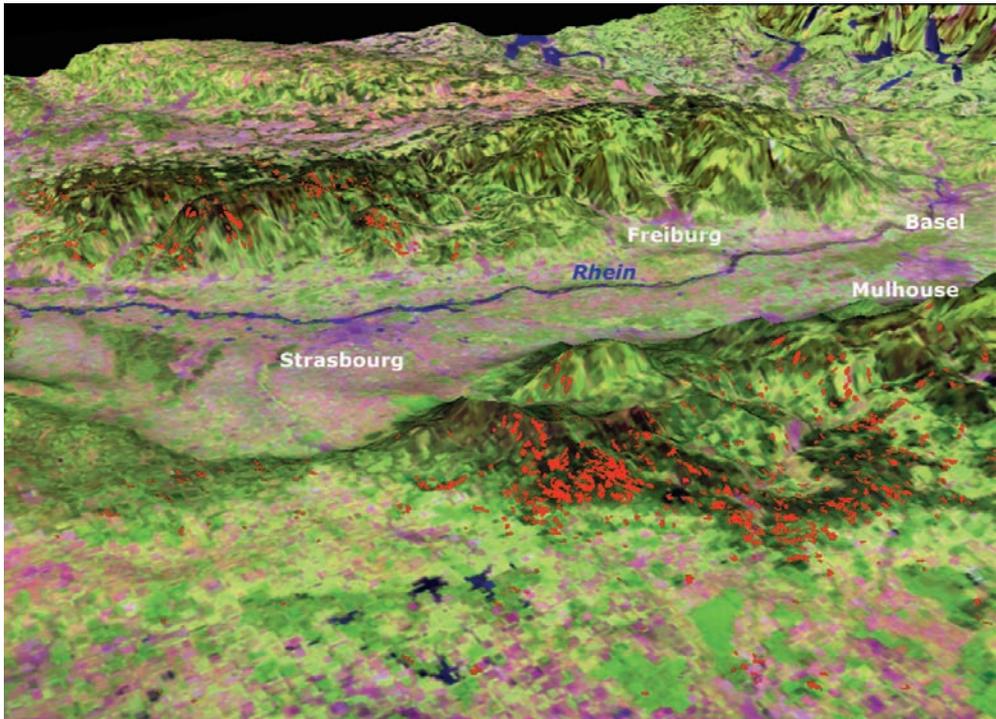
Aus Zeitgründen erfolgte die eigentliche Kartierung durch interaktive Delinierung am Bildschirm auf der Basis der multitemporalen Daten (vorher – nachher Aspekt; Abb. 4). Die Durchmusterung der Waldflächen auf etwaige Schäden und die Delinierung aller erkennbaren Schäden im Gesamtgebiet (> 100 000 km²) im Rahmen der Genauigkeitsvorgaben konnte innerhalb von 4 Manntagen, inklusive der Nachbearbeitung in wenigen Teilgebieten abgeschlossen werden. Die Ergebnisse dieser Kartierung liegen zum einen in einer Flächenstatistik (Tab. 2), als digitale Karten- und Bildprodukte für Dokumentations- und Werbezwecke (Abb. 5 und 6) sowie als Vektor- und Rasterdatensatz für weitere GIS-Einsätze vor.

Tab. 2: Statistiken der geschädigten Waldbestände.

geschädigte Gesamtfläche	mittlere Größe eines geschädigten Bestands	kleinste kartierte Schadensfläche	größte kartierte Schadensfläche
29,164 ha	17,0 ha	0,7 ha	289,1 ha

Tab. 3: Ergebnisse für das gesamte Untersuchungsgebiet.

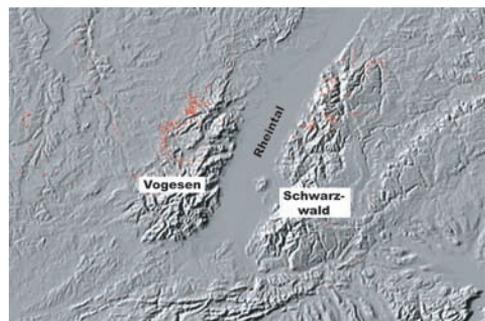
Gesamtfläche (km ²)	davon bewaldet (km ²)	Waldfläche in %	Schadensfläche (km ²)	Schadensfläche in %
103,426	39,922	38,60	291,64	0,73

**Abb. 5:** 3D-Ansicht des Hauptschadengebiets mit Blick von Westen über die Vogesen und das Rheintal auf den Schwarzwald (Landsat 7 ETM, Bandkombination 4,5,3, RGB überlagert über das USGS-Geländemodell). Zur besseren Darstellung bei dem kleinen Maßstab wurden die Schadensflächen überzeichnet dargestellt.

5. Überprüfung der Ergebnisse

Bei der Größe des Schadensgebiets wurde die Verifikation vornehmlich vom Kfz aus durchgeführt. Dabei wurden die Hauptschadensgebiete im Schwarzwald und in den Vogesen bereist. Mittels eines ARC-View-Projekts mit direktem GPS-Link war im Gelände eine eindeutige Identifizierung sämtlicher aufgesuchter Flächen möglich (Abb. 7).

Anhand der im Gelände festgestellten Befunde konnte dem Auftraggeber garantiert werden, dass alle Sturmflächen über 4 ha bei der Kartierung richtig erfasst wurden. Die

**Abb. 6:** Räumliche Verteilung der Schäden in der Region überlagert auf das USGS-Geländemodell.

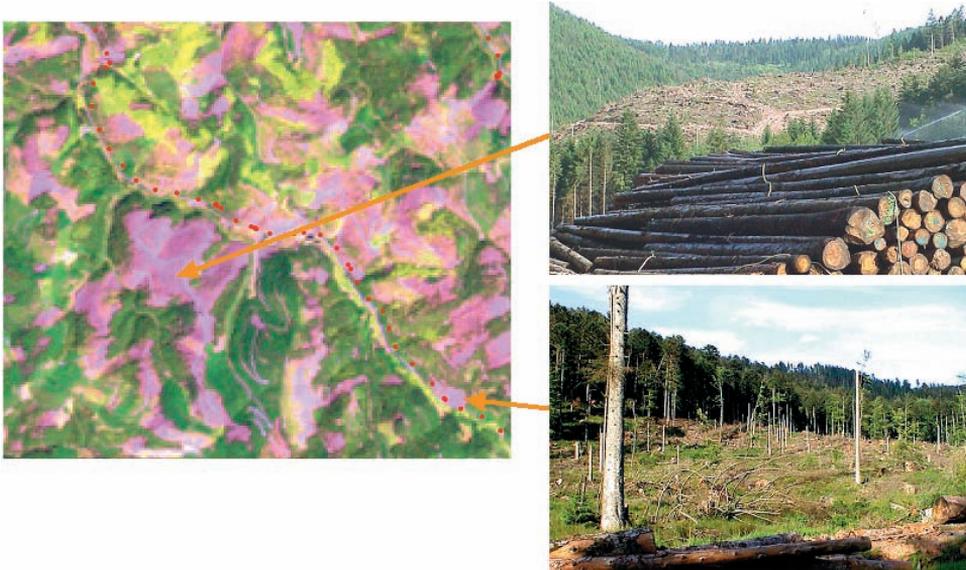


Abb. 7: Beispiel für die Geländebereisung. Links Originalsatellitenbild vom Mai 2000 aus dem Hauptschadensgebiet in den Vogesen. Die gepunktete Linie zeigt einen gemessenen GPS-Track entlang einer Straße. Die Fotografien rechts, die über die GPS-Messungen eine eindeutige geographische Zuordnung haben, dokumentieren exemplarisch den Befund an zwei Stichprobeorten.

Baden-Württembergische Forstverwaltung bestätigte zusätzlich, dass die aus dem Satelliten erfasste Schadensfläche in den Nadelholzbeständen Baden-Württembergs sehr gut mit den internen Quellen übereinstimmt (SCHLÜTER, FD Freiburg, mündl. Mitteilung).

Diskussion der Ergebnisse

Im Rahmen der Studie wurden die durch den Orkan „Lothar“ geschädigten Waldflächen in einem Gesamtgebiet von mehr als 100000 km² mittels Landsat 7 ETM Satellitendaten kartiert. Dies ist die nach unserem Wissensstand bisher größte, in sich konsistente und international angelegte Kartierung von Sturmschäden, die in Europa durchgeführt wurde. Als Ergebnis liegen georeferenzierte Sturmschadensmuster als Grundlage für weiterreichende meteorologische und versicherungstechnische Modelle vor.

Dennoch sollte auch auf einige Schwächen des Verfahrens hingewiesen werden. Als wesentliches Element für derartige In-

venturaufgaben müssen vor und nach einem Sturmereignis so rasch als möglich qualitativ hochwertige Satellitendaten zur Verfügung stehen. Im vorliegenden Fall dauerte es immerhin mehr als drei Monate, bis die ersten wolkenfreien Aufnahmen eines Teilgebiets (der östliche Orbit; Path 195) aufgenommen worden waren. Obwohl diese Zeitverzögerung bei der Zielsetzung des Projekts nicht kritisch war, kann sie für eine Forstverwaltung, die sich mit den Folgen der Schäden unmittelbar auseinandersetzen hat, fast ein Ausschlusskriterium darstellen.

Das zweite Problem liegt darin begründet, dass sich in Satellitendaten vom Spätwinter und vom zeitigen Frühjahr unbelaubte Laubwaldbestände von gebrochenen Laubwäldern gar nicht oder nicht mit ausreichender Sicherheit differenzieren lassen. In dem März-Orbit (Schwarzwald und Mittelschweiz) wurden daher nur Schäden in Nadelholzbeständen kartiert, während die starken Schäden in Laubwäldern – beispielsweise im Rheintal – nicht erfasst wurden. Da der hohe Nadelwaldanteil in den Vogesen und dem Schwarzwald dennoch eine gute

räumliche Verteilung der Schäden erkennen lässt, ist dieses Manko für den Auftraggeber nicht gravierend. Für eine Forstverwaltung können fehlende Informationen über Schäden in größeren Laubwaldregionen jedoch wiederum kritisch sein.

Beinahe zwei Jahre nach dem Orkan sind 20% der versicherten Schäden noch nicht reguliert. Deshalb hat die Verschneidung der Schadflächen mit den Versicherungsdaten gerade erst begonnen. In Tab. 4 werden vorläufige erste Ergebnisse der Analysen für stark betroffene Gebiete in Baden-Württemberg präsentiert. Dabei gilt ein Gebiet (auf der Basis der fünfstelligen Postleitzahlen) dann als stark betroffen, wenn innerhalb dieses Gebiets die kartierte Schadensfläche im Wald größer als 1% der Gesamtwaldfläche ist. Danach zeigen die ersten Analysen einen klaren Zusammenhang zwischen dem versicherten Schaden und den kartierten Schäden in den Wäldern.

Windmodelle, die in der Versicherungsindustrie zum Einsatz kommen, basieren auf Risikoeinschätzungen, die auf einer Korrelation von Schadensparametern mit der Windgeschwindigkeit basieren. Für den Sturm „Lothar“ ergibt sich allerdings eine sehr große Streuung bei den Schäden und eine nur schwache Korrelation zu den analysierten Windgeschwindigkeiten. Die Gründe dafür sind – neben einer Reihe von methodischen Problemen bei der Messung der Windgeschwindigkeiten – das unzureichende Netzwerk an meteorologischen

Tab. 4: Gebäudeschäden in Baden-Württemberg in Abhängigkeit von der Stärke der kartierten Sturmschäden im Wald.

	stark geschädigte Fläche	Rest des Landes
% geschädigte Gebäude	18,8 %	12,1 %
mittlerer Schaden pro geschädigtem Gebäude	2,139 €	1,785 €
Höhe des Schadens im Verhältnis zur Summe der Gebäudewerte	0,105 %	0,058 %

Messstationen, das eine Auflösung in lokale Windfelder nicht gestattet. Dabei lässt sich speziell in den Mittelgebirgen erwarten, dass orographisch induzierte Windturbulenzen einen großen Einfluss auf das Schädgeschehen nehmen. Doch gerade im deutschen Hauptschadensgebiet zwischen Straßburg und Stuttgart gibt es gar keine Wetterstationen des Deutschen Wetterdienstes. Deshalb ist die Analyse der Schadensmuster in den Wäldern eine wertvolle Zusatzinformation, um lokale Windfelder besser zu verstehen und damit zu verbesserten kleinräumigen Risikoanalysen zu kommen.

Danksagung

Wir bedanken uns bei Herrn Dipl.-Forstwirt KLAUS HALBRITTER für die umfangreiche logistische und praktische Unterstützung bei den Geländearbeiten zur Verifikation der Ergebnisse.

Literatur

- KUNTZ, S. (1997): Satellitenfernerkundung zur Beobachtung der Waldzerstörung – 3 Fallstudien. – Habilitationsschrift, Univ. Freiburg. 238 p.
- KUNTZ, S. & ZIMMERMANN, CHR. (1993): Erfassung von Sturmschäden im nördlichen Schwarzwald mit Hilfe von Satellitendaten. – AFJZ 8/93: 150–155.
- OESTEN, G., KUNTZ, S. & GROSS, C.P. (Eds., 1991): Fernerkundung in der Forstwirtschaft – Stand und Entwicklungen. – Wichmann Verlag, Karlsruhe.
- SCHARDT, M. (1990): Verwendbarkeit von Thematic Mapper-Daten zur Klassifizierung von Baumarten und natürlichen Altersklassen. – Diss., Forstwiss. Fak., Univ. Freiburg.

Anschriften der Verfasser:

PD Dr. STEFFEN KUNTZ, RSS – Remote Sensing Solutions GmbH, Wörthstr. 49, D-81667 München. Tel.: 089-489 547 65, e-mail: kuntz@rsgmbh.de, http://www.rsgmbh.de

Dipl.-Meteorologe Dr. rer. nat. ULRICH EBEL, Swiss Re Germany AG, D-85773 Unterföhring, Tel.: 089-3844 1389, e-mail: Ulrich_Ebel@swissre.com

Manuskript eingereicht: Januar 2002
Angenommen: Januar 2002

Estimation of Vegetation Parameters from Multispectral Data using Physical Models and Ground Control Measurements

FRANZ KURZ, München, OLAF HELLWICH, Berlin & HEINRICH EBNER, München

Summary: We propose a general framework to estimate vegetation parameters from multispectral remote sensing data using physical radiative transfer models and a moderate amount of ground control data. This framework has been exemplarily demonstrated for different winter wheat fields imaged by a Daedalus ATM multispectral scanner in the last two years. The main focus lies on the variations of vegetation parameters within single fields, which are used to derive information about soil heterogeneities for precision farming. For the estimation of vegetation parameters we use physical radiative transfer models, e. g. SAIL and PROSPECT, combined with a linear empirical model. Results show the invertibility of the models for leaf area index, chlorophyll content, specific dry matter, and specific water content. A strategy for the use of ground control data is proposed to receive high accuracies of the estimated vegetation parameters with a minimum of necessary measurements.

Zusammenfassung: *Schätzung von Vegetationsparametern aus Multispektraldaten mit Hilfe physikalischer Modelle und Bodenkontroll-Messungen.* In dieser Arbeit wird ein Verfahren zur Schätzung von Vegetationsparametern aus multispektralen Fernerkundungsdaten mit Hilfe physikalischer Strahlungstransfer-Modelle und einer moderaten Anzahl von Bodenkontroll-Messungen vorgestellt. Dieses Verfahren wurde über einen Zeitraum von zwei Jahren exemplarisch an verschiedenen Schlägen mit Winterweizen getestet, die mit einem Daedalus ATM Multispektralscanner aufgenommen wurden. Von besonderem Interesse sind hierbei die Schwankungen der Vegetationsparameter innerhalb einzelner Schläge zur Ableitung von Informationen über Bodenheterogenitäten, die im Precision Farming eine wichtige Rolle spielen. Zur Schätzung der Vegetationsparameter verwenden wir verschiedene physikalische Strahlungstransfer-Modelle, u. a. SAIL und PROSPECT, in Kombination mit einem linearen empirischen Modell. Die Ergebnisse zeigen, dass durch Invertierung der verwendeten Modelle der Blattflächenindex, der Chlorophyllgehalt, die spezifische Trockenmasse und der spezifische Wassergehalt zuverlässig geschätzt werden können. Eine Strategie zur Verwendung von Bodenkontroll-Messungen wurde entwickelt, bei der hohe Genauigkeiten mit einem Minimum an Messaufwand erreicht werden können.

1 Introduction

Remote sensing techniques play an important role in precision farming by providing continuous and contactlessly acquired data of agricultural crops. Remote sensors image vegetation, which is growing on different soil types with different water availability, substrate, impact of cultivation, and relief.

These differences influence the state of the plants and cause heterogeneous regions within single fields. Hence the heterogeneous vegetation acts as an interface between soil and remote sensing information, because vegetation parameters describing the state of the plants can be deduced from remote sensing imagery.

In this context a framework for the estimation of vegetation parameters from mul-

tispectral imagery is proposed. The main focus of our approach lies on the variation of the vegetation parameters within single fields assuming that field borders and vegetation type are given. This framework applies both a physical and an empirical model to derive the functional relationship between vegetation parameters and measured image grey values. The physical model is used to estimate selected vegetation parameters by an inversion process, whereas the empirical model fits the physical model to local characteristics and sensor specifics.

This technique has been exemplarily tested for several sites with winter wheat imaged by a *Daedalus* ATM multispectral scanner from DLR (German Aerospace Center). Results show the attained accuracies for the estimated vegetation parameters with respect to the amount of ground control points.

2 Related Work

The estimation of vegetation parameters using physical models is based on the description of radiative transfer in the canopy by means of an analytical reflectance model. In the last 30 years, various models describing radiative transfer in canopy, soil and leaves have been published. These models provide the relationship between the radiation incoming from the sun and – according to the bidirectional reflectance distribution function (BRDF) – to the observer scattered radiation. Inputs of these models are the structural and spectral parameters of the vegetation/soil medium. Models describing the complete vegetation/soil medium are called *canopy transfer models*, e. g. the *SAIL* model (VERHOEF 1984), the Nilson-Kuus canopy reflectance model (NILSON & KUUSK 1989), and the *LCM2* model (GANAPOL et al. 1999). In these models, the leaves are considered as the only components of the vegetation canopy characterised by their reflectance and transmittance. The spectral properties of the leaves are mainly influenced by the chemical consistency of the lea-

ves, which can be modelled by so called *leaf optical physical models*, e. g. *PROSPECT* (JACQUEMOUD & BARET 1990), *LEAFMOD* (GANAPOL et al. 1998), and *SLOPE* (MAIER 2000).

Generally, these models were set up in the forward mode. This means output parameters are the reflectance on top of the canopy for given parameters of the vegetation/soil medium. The solution of the resulting inverse problem was subject of many investigations during the last years. Depending on the applied sensors two main methods can be distinguished, inversion with multidirectional and with multispectral data. Independent of the method the inversion of the physical model was conducted using different mathematical algorithms such as look up table (KNYAZIKHIN et al. 1998), iterative optimisation (JACQUEMOUD et al. 1995), and neural networks (BUELGASIM et al. 1998). These algorithms adjust the model input parameters in such a way that the model-predicted values closely match the measured values. A comparison of these methods (PRAGNERE et al. 1999) gives slight advantages to the neural networks technique that is most robust for different sensors and canopy types. Up to now the inversion studies are performed with simulated reflectance or field spectrometer measurements. In practical applications with airborne or space-borne sensor data, a variety of empirical tools, such as vegetation indices and spectral mixture models, are widely used to derive biophysical parameters of the vegetation. Our approach combines strict inversion of physical models with empirical elements to estimate biophysical parameters from airborne sensor data. In previous work (KURZ & HELLWICH 2000), we describe our inversion method, the investigation of invertibility and the selection of relevant biophysical parameters in more detail. We chose four parameters for a partial inversion of the applied physical models: *leaf area index*, *chlorophyll content*, *specific dry matter*, and *specific water content*. The inversion was conducted using simulated annealing followed by a least squares adjustment.

3 Methodology

3.1 Overview

Modelling of radiative transfer is usually established in the forward direction, i. e. the model follows the way of the photons from the sun to the observer to calculate sensor grey values given some information about the surface and atmosphere. The reverse direction is also referred to as model inversion with given sensor grey values to derive information about the surface and atmosphere.

Fig. 1 shows the combination of several physical and a linear empirical model in the forward and reverse mode. The model input is divided into constant and variable parameters. The variable parameters, leaf area index, chlorophyll content, specific dry matter and specific water content, are part of the input parameters as well as the

target parameters of the model inversion. These parameters are chosen because they show the highest variability within single fields, whereas the other input parameters, e. g. the soil reflectance or the leaf angle distribution, are assumed to be known and constant. Output parameters of the physical models are sensor grey values $g_{phys-mod}^\lambda$ that have to be fitted to grey values g_{meas}^λ actually occurring at the test site. We use a linear empirical model to attain fitted model-predicted grey values g_{model}^λ .

During the model inversion variable parameters are calculated given the measured grey values. The model inversion is conducted by a *least-squares* adjustment in combination with *simulated annealing*.

In the following chapter a more detailed description of the applied physical and empirical models with all input parameters is given.

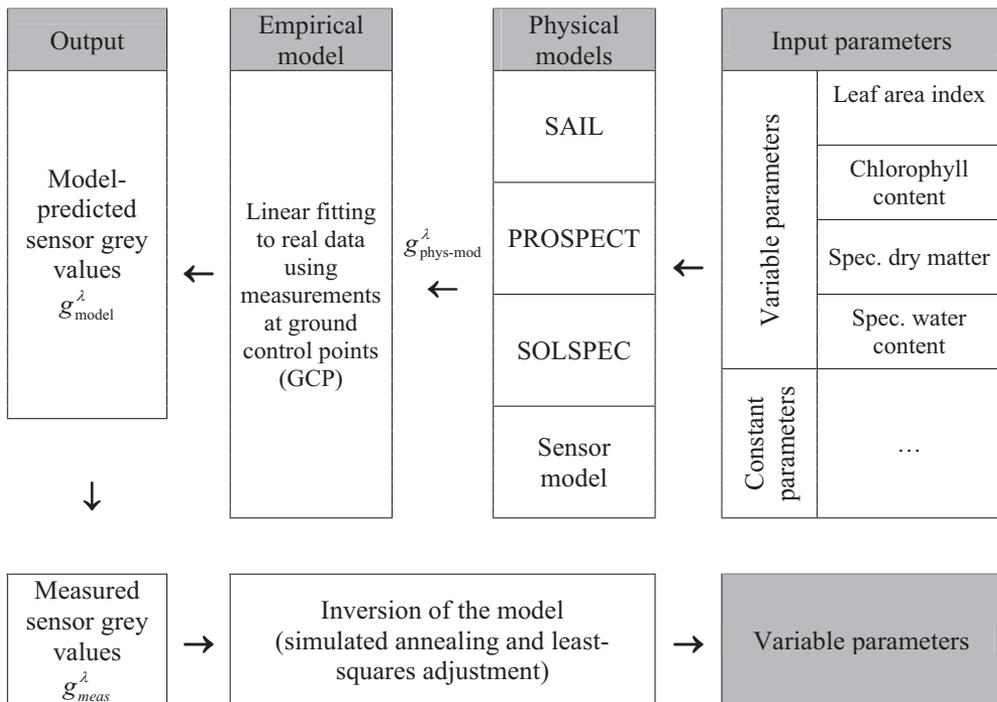


Fig. 1: Overview of the applied physical and empirical models in the forward (upper part) and reverse (lower part) direction.

3.2 Physical and Empirical Models

3.2.1 The SAIL model

The *SAIL* model (VERHOEF 1984) calculates the directional reflectance on top of the canopy as a function of structural and spectral properties of the vegetation/soil medium. A functional relation between vegetation- and soil parameters and directional reflectance ρ^λ can be sketched by

$$\rho^\lambda = \text{SAIL}(LAI, LAD, \rho_i^\lambda, \tau_i^\lambda, \rho_s^\lambda, SKYL^\lambda, a, z, z_{sun}) \quad (1)$$

The vegetation canopy is considered as a homogeneous layer characterised by leaf area index *LAI*, leaf angle distribution *LAD*, as well as reflectance ρ_i^λ and transmittance τ_i^λ of the leaves. Other input parameters of the *SAIL* model are soil reflectance ρ_s^λ , diffuse percentage *SKYL* $^\lambda$ of the incoming radiation, azimuth angle *a* of the observer with respect to the azimuth angle of the sun, zenith angle *z* of the observer, and zenith angle z_{sun} of the sun.

3.2.2 The PROSPECT model

The *PROSPECT* model (JACQUEMOUD & BARET 1990) provides hemispherical reflectance ρ_i^λ and hemispherical transmittance τ_i^λ of fresh leaves over the whole solar domain given only four parameters

$$(\rho_i^\lambda, \tau_i^\lambda) = \text{PROSPECT}(chl_{ab}, c_m, c_w, N) \quad (2)$$

The variables are the content of chlorophyll a and b chl_{ab} , the specific dry matter c_m , the specific water content c_w , and a structure parameter *N*. The reflectance and transmittance of leaves calculated with the *PROSPECT* model are used as input parameters for the *SAIL* model.

3.2.3 The SOLSPEC Model

A simple solar spectral model is used to transform the directional reflectance on top of canopy to spectral band radiances L^λ at the sensor. The *SOLSPEC* solar spectral model (BIRD 1984) calculates direct normal E_{direct}^λ and diffuse irradiances $E_{diffuse}^\lambda$ at tilted

surfaces as well as the diffuse percentage *SKYL* $^\lambda$ of the incoming radiation, which is an input parameter of the *SAIL* model. Input to *SOLSPEC* includes date, time and position, the surface orientation, the temperature, the amount of precipitable water vapour, ozone, and the surface air pressure.

$$E_{direct}^\lambda, E_{diffuse}^\lambda, SKYL^\lambda = \text{SOLSPEC}(date, time, K) \quad (3)$$

No further atmospheric corrections are applied. Given the total incoming radiation $E_{direct}^\lambda + E_{diffuse}^\lambda$ and the directional reflectance of the vegetation canopy ρ^λ , the spectral band radiances L^λ at the sensor can be calculated.

$$L^\lambda = \frac{(E_{diffuse}^\lambda + E_{direct}^\lambda)\rho^\lambda}{\pi} \quad (4)$$

3.2.4 Sensor Model

A sensor model is applied to transform the continuous spectral band radiances L^λ at the sensor into band specific grey values $g_{phys-mod}^\lambda$. First the spectral sensitivities of the sensor bands are taken into account to calculate representative spectral radiances for each band. Then with given calibration constants of the sensor and the representative spectral band radiances grey values $g_{phys-mod}^\lambda$ can be calculated.

3.2.5 Empirical Model

As mentioned above the grey values $g_{phys-mod}^\lambda$ have to be fitted to the grey values g_{meas}^λ actually occurring at the investigated test site using simple parameters such as offset a^λ and scale b^λ for each sensor band. These parameters are assumed to be constant for each dataset. This linear fitting is necessary due to simplifications made in the physical models and uncertainty of constant model parameters.

The model-predicted sensor grey values g_{model}^λ are calculated by linear transformation of the grey values $g_{phys-mod}^\lambda$ using

$$g_{model}^\lambda = a^\lambda + b^\lambda g_{phys-mod}^\lambda \quad (5)$$

Fig. 1 illustrates the calculation of the model-predicted sensor grey values $g_{\text{model}}^{\lambda}$ from input parameters using the described physical and empirical models.

3.3 Inversion Process

During the inversion process an optimal set of variable input parameters is estimated from the given grey values by non-linear and linear optimisation methods for each pixel (v. Fig. 1). In our approach the inversion of the applied models was conducted by the global optimisation method *simulated annealing* (HELLWICH 1999) followed by a conventional *least-squares* adjustment using a Gauss-Markov model (MIKHAIL 1976) with weighted observations. There is a redundancy of five for each pixel with the measured grey values $g_{\text{meas}}^{\lambda}$ in nine spectral bands as observations and four unknown vegetation parameters, LAI , chl_{ab} , c_m , and c_w . In addition the offset a^{λ} and scale b^{λ} are introduced as unknown parameters as well as observations. The introduction of pseudo observations $a^{\lambda} = 0$ and $b^{\lambda} = 1$ with low weights supports the inversion process. The pseudo observations decrease the influence of weak ground control points and reduce ambiguities.

The empirical parameters a^{λ} and b^{λ} should be estimated once for each dataset, which leads to 2×9 additional unknown parameters for a single dataset. The ground truth parameters measured on the selected ground control points are also introduced as observations being uncertain to a degree corresponding to the acquisition method. All other input parameters are assumed to be known and constant in the inversion process. Now the unknown empirical parameters and the vegetation parameters for each pixel can be estimated in a simultaneous least-squares adjustment. For this approximate values for the unknown vegetation parameters are necessary. First approximate values for the offset and scale parameters can be estimated through linear regression with the grey values $g_{\text{phys-mod}}^{\lambda}$ and measured grey values $g_{\text{meas}}^{\lambda}$ of at least two ground control points. Then approximate values for the

unknown vegetation parameters are estimated using *simulated annealing*. As an alternative standard values of the unknowns may be used as approximate values.

The poor robustness of the inversion process is the main problem. The inversion fails, if vegetation parameters leave the definition range or the maximum number of iterations is reached. To improve the accuracy and robustness some enhancements have been implemented.

- Pixels not representing the main crop, e. g. tracks of agricultural machines and weed, are eliminated from the estimation process. For the extraction of these disturbances some classification methods have been suggested (KURZ et al. 2000).
- Robustness and accuracy are improved by averaging grey values of neighbouring pixels belonging to homogenous areas.
- To restrain the vegetation parameters inside the definition range a penalty technique was applied during *simulated annealing*. If vegetation parameters leave the definition range during the least squares adjustment the parameters are set back to values at the edge of the definition range. If this procedure is not successful, the corresponding point will finally be eliminated.

4 Results

4.1 Database

The investigations were conducted under the umbrella of the *Forschungsverbund Agrarökosysteme München (FAM, Research Network Agricultural Ecological Systems Munich)*, which is presently using the *Daedalus* multispectral scanner as standard remote sensing instrument. For the 1.5 km^2 *FAM*-test sites in north of Munich, *Daedalus* multispectral scanner data and colour-infrared aerial photography were acquired. Flight dates were 28 June 2000 and 27 June 2001, when winter wheat changes to maturity. The *Daedalus* multispectral scanner operates in 11 spectral bands of the *VIS*, *NIR*, *SWIR* and *TIR* spectra. Nine of these channels are used in the inversion process. The

ground pixel size amounted to 1.33 m . The *Daedalus* image data were geocoded by matching with ortho imagery with a ground pixel size of 0.06 m . The influences of the wide scan angle (RICHTER 1992) on the radiometry of the *Daedalus* scanner were corrected by DLR.

At several fields with winter wheat randomly distributed measurement sites were selected each year. At these sites as many as possible input parameters of the applied physical models were measured, such as total dry matter and total water content of samples, leaf area index and mean leaf angle. The wet samples corresponding to an 0.25 m^2 area were weighed, oven dried and weighed again to assess total dry matter and total water content. Leaf area index and mean leaf angle were measured with the *Licor LAI-2000* analyser. Combining leaf area index with total dry and wet matter, specific dry matter and specific water content are derived. From the mean leaf angle and a shape parameter the leaf angle distribution *LAD*

is derived based on an ellipsoidal distribution. Using the *Licor LAI-2000*, ears, stems and leaves of winter wheat plants cannot be separated for the assessment of leaf area index and mean leaf angle. Thus, all measurements are made without separation of different plant components. The chlorophyll content has been estimated qualitatively considering the visual appearance of the leaves. Most measurements are repeated to assess accuracy properties.

4.2 Estimation of vegetation parameters at the test sites

The estimation of vegetation parameters was conducted using the described models and *Daedalus* multispectral scanner data. The measurement sites within the fields are arbitrarily divided in ground control points and validation points.

The ground truth measurements at the ground control points are an essential part of our model, whereas the measurements at

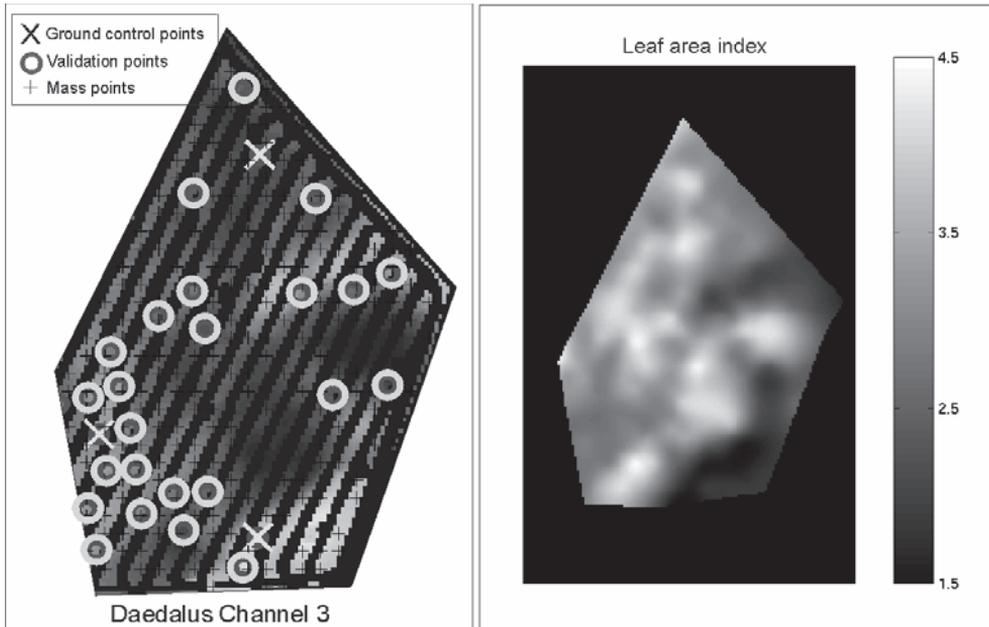


Fig. 2: Data acquisition with *Daedalus* ATM scanner and ground truth measurements on June 28th 2000. Regions with disturbed vegetation are masked out. In this example three ground control points are selected for model inversion. The estimation has been conducted at validation and mass points to create maps of vegetation parameters (for example leaf area index on the right).

the validation points are used to prove the accuracy of the inversion process. No measurements are made at mass points, which are used to estimate unknown vegetation parameters at any position within the field. To reduce computing time mass points are chosen in a grid of 10×10 pixels. Fig. 2 illustrates the distribution of the different types of points. In this special case three ground control points are chosen. Disturbed pixels and pixels near the wheel tracks have been eliminated. Thus, mass points lying on the eliminated pixels have been excluded from the inversion process. The *Daedalus* multispectral scanner data have been smoothed with a mean filter of mask size 5×5 . Approximate values for the vegetation parameters at mass points are estimated using simulated annealing. After the least-squares adjustment the resulting maps of vegetation parameters are calculated by interpolating between the estimated vegetation parameters.

4.3 Accuracies

Our goal is to derive a strategy for the use of ground control points. From a practical view the number of necessary ground control points should be low to reduce required ground truth measurements. On the other hand the robustness of the inversion process and attained accuracies of the estimated ve-

getation parameters should be high. In Fig. 3 two kinds of accuracies of the estimated leaf area index for two combinations of ground control points are illustrated. The theoretical standard deviation, which is derived from the least-squares adjustment, corresponds quite well with the empirical deviation at the validation points with a tendency of higher empirical deviations for both combinations. The empirical deviation is the difference between measured and estimated vegetation parameters.

Fig. 4 shows the relation between the number of ground control points and the empirical or theoretical accuracies of the vegetation parameters. For this purpose the theoretical and empirical accuracies at the validation points are estimated for different combinations of ground control points. Using the accuracies at the validation points the *RMSE* (root mean square error) for each vegetation parameter expressed in percent of the mean value has been calculated. The results show that the *RMSE* of the vegetation parameters are more or less independent of the number of ground control points. The inversion fails completely, if no ground control points are used, i. e. most vegetation parameters leave the definition range.

Note, that the accuracies and robustness of the inversion depend on quality of the measurements at ground control points and

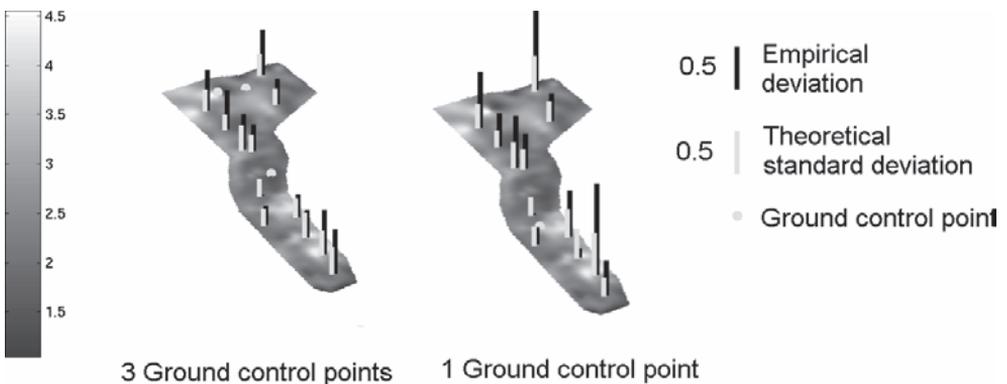


Fig. 3: Maps of leaf area index estimated with *Daedalus* scanner data of June 27th 2001. For two combinations of different ground control points the empirical deviations and the theoretical standard deviations of the leaf area index at the validation points are calculated.

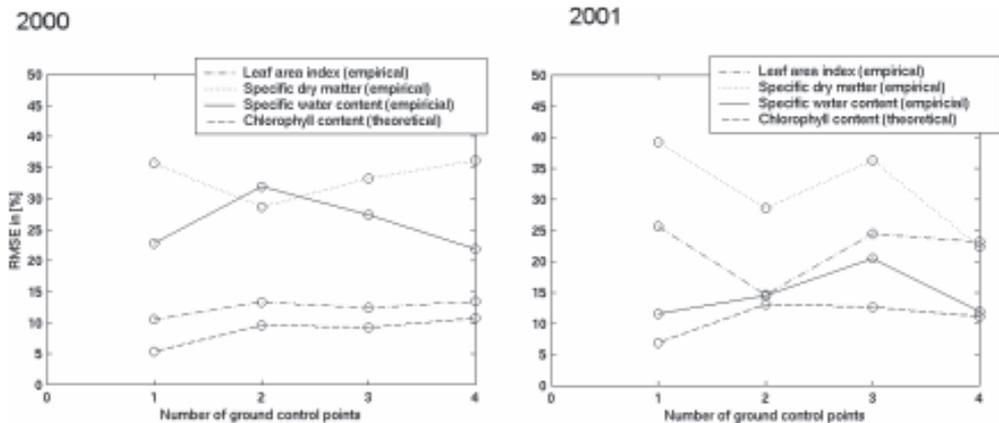


Fig. 4: Relation between the number of ground control points and the accuracies of the estimated vegetation parameters for two campaigns in the years 2000/2001.

spectral distribution of these points. For practical applications the ground control points have to be selected before or during the data acquisition and should ideally cover the whole range of grey values in each band. Unfortunately, the selection can be based only on the visual appearance of the fields unless there are multispectral data available before or during the data acquisition. Thus the selection of ground control points is based only on the visual bands independent of the grey values of these points in all other bands.

Generally spoken, the robustness of the inversion process can be increased by using more than one ground control point. In this case the ground control points should be spectrally well distributed in their visual appearance. Using only one ground control point, accuracies and robustness may be poor, if the grey values of the ground control point lie at one end of the value range in the visible bands. For acceptable accuracies the ground control point should lie near the centers of the grey value range.

4.4 Influence of constant model parameters

During the inversion process the constant model parameters have to be set to realistic

values, which are partly difficult to determine. Uncertainties of constant model parameters influence the inversion process and can be attenuated through the empirical fitting of the physical models. Our goal is to investigate which constant parameters can be set to any values within the definition range and which should be adjusted to the actual situation. Thus, the accuracies of the vegetation parameters are computed as a function of constant parameters, which vary within their definition range. Results show that only three constant parameters influence the accuracies of the vegetation parameters and should be adjusted to the investigated vegetation type and soil: the structure parameter N , the leaf angle distribution LAD , and the soil reflectance ρ_s^{λ} . All other constant parameters can be set to any values, because a variation of these parameters only slightly influences the accuracies.

5 Summary

A new semi-empirical technique for the estimation of vegetation parameters from multispectral image data was proposed and tested with real data. By inverting physical radiative transfer models in combination with an empirical model agriculturally relevant vegetation parameters can be estimated gi-

ven the grey value vector of the *Daedalus* scanner imagery. The inversion of models was conducted by a *least squares* adjustment in combination with *simulated annealing*. Four vegetation parameters *leaf area index*, *chlorophyll content*, *specific dry matter*, and *specific water content* have been selected for the inversion process.

Ground control points are a necessary part of our inversion process and are used for a linear fitting of model-predicted grey values to measured grey values. The goal is to use a minimum of ground control points to receive acceptable accuracies for the estimated vegetation parameters. Results show that by using at least one ground control point the accuracies are more or less independent of the number of ground control points. Using more than one point increases the robustness of the inversion process. In this case the grey values at ground control points should cover the whole range of grey values in the visible bands. If only one ground control point is used this point should lie near the center of the grey values range for acceptable accuracies and robustness.

The influence of constant input parameters of the physical models on the accuracies has been investigated. Only three input parameters influence the accuracies, the soil reflectance, the leaf angle distribution and the structure parameter. The three constant parameters should be adjusted to the actual vegetation type and soil at the investigated sites. All other constant parameters can be set to any values within the definition range.

6 Acknowledgement

This project was financed since 1999 by GSF-National Research Center for Environment and Health in Munich and Chair for Photogrammetry and Remote Sensing at Technical University Munich. The authors would like to thank HANS PESCHL, ROBERT LANZL and JAN KETZEL for their support during the data acquisition campaigns in summers 2000/2001.

7 References

- BIRD, R. E. (1984): A simple spectral model for direct normal and diffuse horizontal irradiance. – *Solar Energy* **32**: 461–471.
- BUELGASIM, A., GOPAL, S. & STRAHLER, A. (1998): Forward and inverse modelling of canopy directional reflectance using a neural network. – *International Journal of Remote Sensing* **19**: 453–471.
- GANAPOL, B., JOHNSON, L., HLAVKA, C., PETERSON, D. & BOND, B. (1999): LCM2: A coupled leaf/canopy radiative transfer model. – *Remote Sensing of Environment* **70**: 153–166.
- GANAPOL, B., JOHNSON, L., HAMMER, P., HLAVKA, C. & PETERSON, D. (1998): LEAFMOD: A new within-leaf radiative transfer model. – *Remote Sensing of Environment* **63**: 182–193.
- HELLWICH, O. (1999): Model parameter estimation for digital image analysis using simulated annealing. – *PFG – Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation: PFG* **1999** (6): 371–379.
- JACQUEMOUD, S. & BARET, F. (1990): PROSPECT: A model of leaf optical properties spectra. – *Remote Sensing of Environment* **34**: 75–91.
- JACQUEMOUD, S., BARET, F., ANDRIEU, B., DANSON, F. M. & JAGGARD, K. (1995): Extraction of vegetation biophysical parameters by inversion of the SAIL + PROSPECT models on sugar beet canopy reflectance data. Application to TM and AVIRIS sensors. – *Remote Sensing of Environment* **52**: 162–172.
- KNYAZIKHIN, Y., MARTONCHIK, J., DINER, D., MYNENI, R. & RUNNING, S. (1998): Synergistic algorithm for estimating vegetation canopy leaf area index and fraction of absorbed photosynthetically active radiation from MODIS and MISR data. – *Journal of Geophysical Research* **103**: 32257–32275.
- KURZ, F. & HELLWICH, O. (2000). Estimation of vegetation parameters from multi-spectral images using SAIL+PROSPECT model. – *Proceedings of the DGPF-Jahrestagung, Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung*: 384–393.
- KURZ, F., EHRLICH, S. & HINZ, S. (2000): Möglichkeiten und Grenzen der Bildverarbeitung bei der Charakterisierung von Vegetationsheterogenitäten mit Fernerkundungsmethoden. – *Berichte der Gesellschaft für Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft*, **26**: 111–114.
- MAIER, S. (2000): Modelling the radiative transfer in leaves in the 300 nm to 2500 nm wavelength region taking into consideration chlorophyll

- fluorescence – The leaf model SLOPE. – Dissertation, Department of Physics, Technical University of Munich.
- MIKHAIL, E. M. (1976): Observations and Least Squares. – IEP, New York.
- NILSON, T. & KUUSK, A. (1989): A reflectance model for the homogeneous plant canopy and its inversion. – Remote Sensing of Environment **27**: 157–167.
- PRAGNERE, A., BARET, F., WEISS, M., MYNENI, R., KNYAZIKHIN, Y. & WANG, L. (1999): Comparison of three radiative transfer model inversion techniques to estimate canopy biophysical variables from remote sensing data. – Proceedings of the IGARSS 99, International Geoscience and Remote Sensing Symposium 99, Hamburg, CD-ROM 0-7803-5210-6.
- RICHTER, R. (1992): Radiometrische Auslegung von Sensoren und quantitative Auswertung von Fernerkundungsdaten im optischen Spektralbereich. – Forschungsbericht DLR, München.
- VERHOEF, W. (1984): Light Scattering by Leaf Layers with Applications to Canopy Reflectance Modeling: the SAIL Model. – Remote Sensing of Environment **16**: 125–141.
- Addresses of the authors:
Dipl.-Ing. FRANZ KURZ, Chair for Photogrammetry and Remote Sensing, Technische Universität München, Arcisstraße 21, D-80333 München, Germany. Tel.: 49-89-289 22676, Fax: 49-89-280 9573 e-mail: Franz.Kurz@bv.tum.de URL: <http://www.remotesensing-tum.de>
- Univ.-Prof. Dr.-Ing. OLAF HELLWICH, Photogrammetrie und Kartographie, Technische Universität Berlin, Straße des 17. Juni 135, 10623 Berlin, Germany Phone: +49 30/314 22796, Fax: +49 30/314 21104 E-mail: Hellwich@fpk.tu-berlin.de URL: <http://www.fpk.tu-berlin.de>
- Univ.-Prof. Dr.-Ing. HEINRICH EBNER, Chair for Photogrammetry and Remote Sensing, Technische Universität München, Arcisstraße 21, 80333 Munich, Germany, Phone: +49 89/289 22670, Fax: +49 89/280 9573, E-mail: Heinrich.Ebner@bv.tum.de URL: <http://www.remotesensing-tum.de>
- Manuskript eingegangen: Januar 2002
Angenommen: Februar 2002

Ein Verfahren zur multitemporalen Interpretation von Vegetationsflächen aus Luftbildern

KIAN PAKZAD, Hannover

Zusammenfassung: Es wird ein Verfahren zur automatischen multitemporalen Interpretation von industriell genutzten Mooregebieten beschrieben. Ausgehend von einer auf Geo-Daten gestützten Initialsegmentierung wird für jeden zu interpretierenden Zeitpunkt eine Resegmentierung und eine Interpretation der Segmente durchgeführt. Dabei werden sowohl strukturelle Merkmale als auch Vorwissen über mögliche zeitliche Veränderungen (temporales Wissen) verwendet. Durch die Nutzung des temporalen Wissens ist es möglich, Moorklassen zu unterscheiden, die nur aus einer zeitlichen Abfolge heraus erkannt werden können. Die Verwendung des temporalen Wissens und der strukturellen Merkmale eröffnet die Möglichkeit, zur Interpretation von Vegetationsgebieten nur Schwarzweißbilder zu verwenden. Die erzielten Ergebnisse zeigen, dass das vorgeschlagene Verfahren geeignet ist, eine multitemporale Interpretation von Mooregebieten durchzuführen und gegenüber bisherigen Ansätzen durch die verwendeten Strategien zusätzliche Moorklassen unterscheiden kann, multitemporal eine robustere Interpretation durchführt und nicht auf Farbbilder angewiesen ist.

Summary: *A procedure for multitemporal interpretation of vegetation areas from aerial images.* This paper describes a procedure for automatic multitemporal interpretation of industrially used moorland. Proceeding from an initial segmentation based on Geo-Data a resegmentation and an interpretation of the segments is carried out for each investigated epoch. The procedure utilises structural features as well as prior knowledge about possible temporal changes (temporal knowledge). By using temporal knowledge it is possible to separate moor classes, which can only be detected in temporal order. The application of temporal knowledge and structural features enables the exclusive use of grey scale images for interpretation of vegetation areas. The results show that the presented procedure is suitable for multitemporal interpretation of moorland, and that it is able to distinguish additional moor classes compared to the approaches used so far. It is further applicable for a more robust multitemporal interpretation, and does not depend on colour images.

1 Einleitung

Der Bedarf an aktuellen GIS-Daten nimmt immer mehr zu. Dies liegt daran, dass bestimmte auf GIS-Daten zurückgreifende Anwendungen auf deren Aktualität angewiesen sind und in immer kürzeren Zeitabständen verwendet werden. Daraus resultiert, dass die Aktualisierung von GIS-Daten in immer kürzeren Perioden erfolgen muss. Da die Erfassung von Landschaftsobjekten bislang fast ausschließlich manuell durch Auswerter erfolgt und damit langsam und teuer ist, nimmt die Bedeutung der automatischen oder automatisierten Inter-

pretation von Fernerkundungsdaten immer mehr zu. Durch die Automation soll die Effizienz der Erfassung verbessert werden.

Zur automatisierten Objektextraktion besteht, insbesondere in Vegetationsgebieten, die bislang verwendete Standardmethode in der multispektralen Klassifikation angewendet auf Einzelbilder. Sie lässt sich in den meisten kommerziellen Programmpaketen zur fernerkundlichen Bildverarbeitung wiederfinden. Diese Art der Bildinterpretation nutzt jedoch allein die spektralen Gebiets-eigenschaften und damit nur einen relativ geringen Anteil der verfügbaren Informatio-

nen. Da die meisten Landschaftsobjekte keine homogene spektrale Signatur aufweisen, eignet sich die multispektrale Klassifikation nur zur Erkennung einer begrenzten Anzahl von Objektarten. Die Interpretationsleistung des Menschen wird bei weitem nicht erreicht, da dieser wesentlich mehr Informationen in den Interpretationsprozess einbezieht. Er nutzt sein umfangreiches Wissen, um basierend auf seinen Erwartungen Hypothesen bezüglich Farbe, Form und Struktur von einzelnen Objekten sowie bezüglich der Beziehungen zwischen verschiedenen Objekten aufzustellen und in den Bildern zu verifizieren. Die Modelle, die er diesen Interpretationen zu Grunde legt, sind sehr umfangreich und seine Interpretationsleistung ist damit relativ hoch, unter der Voraussetzung, dass er Erfahrung in der Interpretation der jeweiligen Objekte hat.

Das verwendete Verfahren nutzt eine explizite Beschreibung des Expertenwissens. Die Wissensbeschreibung erfolgt in Form von Semantischen Netzen. So lässt sich das Expertenwissen einfach in das System einbinden, bei Bedarf aktualisieren oder an veränderte Problemstellungen anpassen.

Zudem werden die Gebiete auf Grund der enthaltenen Strukturen interpretiert. Dabei wird nicht nur von radiometrischen, sondern auch von Texturmerkmalen ausgegangen. Diese leiten sich aus Beschreibungsformen ab, die hochsprachlich ebenfalls zur Charakterisierung von Flächen verwendet werden. Ein Beispiel hierfür ist die Beschreibung „unregelmäßige Struktur“, die auf den ersten Blick schwer zu fassen ist. Mit Hilfe einer Gruppe von derartigen Beschreibungsformen ist es beispielsweise möglich, neben der einfachen Überführung des Expertenwissens in das System auch Interpretationen von Gebieten ohne Farbinformationen durchzuführen. Für die meisten Vegetationsgebiete waren hierfür bislang multispektrale oder hyperspektrale Daten unverzichtbar (z. B. RHEIN et al. 1997).

Mit dem steigenden Bedarf an aktuellen GIS-Daten gewinnt auch die Auswertung von multitemporalen Bilddaten zunehmend an Bedeutung. Die meisten Arbeiten beschränken sich hierbei auf die alleinige Än-

derungsdetektion und weniger auf die Erkennung der Art der Änderungen (z. B. MAS 1999). Für letztere Aufgabe sind ebenso wie bei der monotemporalen Interpretation komplexe Modelle notwendig, die aus dem temporalen Expertenwissen stammen. Während im monotemporalen Bereich für bestimmte Objektarten bereits komplexes Modellwissen verwendet wird, geschieht dies in der multitemporalen Bildinterpretation bislang nur sehr vereinzelt. Im Rahmen dieser Arbeit ist daher eine Strategie zur Nutzung von temporalem Wissen für die Interpretation von Fernerkundungsdaten entwickelt worden.

Aus den entwickelten Strategien wurde ein Verfahren zur automatischen Interpretation von industriell genutzten Mooregebieten entwickelt. Eine Überwachung derartiger Gebiete, in denen trotz empfindlicher und geschützter Vegetation industrielle Aktivitäten durchgeführt werden (EIGNER & SCHMATZLER 1991), ist aus Naturschutzgründen wünschenswert. Eine Automatisierung dieses Vorganges würde eine erhebliche Arbeitserleichterung für die Auswerter bedeuten.

2 Zielsetzung

Das Ziel dieser Arbeit war es, eine automatische Interpretation von Vegetationsflächen aus Bildern durchzuführen und dabei sowohl die strukturellen Informationen als auch die zeitlichen Veränderungen (multitemporal) zu berücksichtigen. Es sollten somit mehr Merkmale in die Interpretation einbezogen werden, als einzig die spektrale Information.

Das Expertenwissen über die zu interpretierenden Gebiete sollte möglichst einfach in das verwendete System integrierbar und modifizierbar sein. Dabei sollte sowohl Wissen über die Merkmale und die Struktur des verwendeten Gebietes genutzt werden als auch Wissen über die zeitlichen Veränderungen der Gebiete.

Als Anwendung für dieses Verfahren wurde die Interpretation von Mooregebieten gewählt. Für ein derartiges Gebiet sollte die Interpretation konzipiert und die entspre-

chenden Modelle aufgestellt werden. Das Verfahren sollte die Möglichkeit bieten, sowohl Farbbilder als auch Schwarzweißaufnahmen zu nutzen. Dabei sollte die Verwendung beider Aufnahmearten in eine Zeitreihe für die multitemporale Interpretation möglich sein.

3 Strategie

Bei der Betrachtung von vielen Vegetationsgebieten fällt auf, dass sie inhomogen in Farbe und Struktur sind. Obwohl auf Grund dessen für viele Flächen kein Homogenitätskriterium zur Gebietsextraktion und zur Klassifikation gefunden werden kann, sind menschliche Operateure dennoch in der Lage, diese manuell zu interpretieren. Die Vorgehensweise ist dabei häufig folgende: Sie suchen innerhalb bestimmter Regionen nach Hinweisen für eine bestimmte Interpretation. Diese Hinweise können bestimmte Strukturen, Objekte oder Farben sein. Sie verwenden sog. Interpretationsschlüssel. Die Strategie, die in dieser Arbeit verwendet wurde, orientiert sich an dieser Vorgehensweise. Das Expertenwissen über die Interpretationsschlüssel, die zur Interpretation eines Vegetationsgebietes notwendig sind, wurde im System verwendet.

Die Schritte, das Gebiet in Segmente zu unterteilen und zu interpretieren, wurden voneinander getrennt. Da die zu interpretierenden Gebiete inhomogen sein können, eignen sich übliche multispektrale oder texturbasierte Segmentierungsverfahren nur bedingt, da Homogenitätskriterien für diese schwer oder gar nicht zu finden sind. Daher wurde in dieser Arbeit die Segmentierung in zwei Schritten durchgeführt. Im ersten Schritt erfolgte eine Aufteilung auf Grund bestimmter Geo-Daten. Für die Interpretation von Mooregebieten wurden dafür Straßen, Wege und Gewässer verwendet. Dieses sind Objekte, die häufig auch bei der manuellen Interpretation zur Segmentierung verwendet werden. In einem zweiten Schritt wurden die entstandenen Segmente einzeln nach bestimmten Kriterien untersucht und ggf. auf Grund der Radiometrie und der Textur weiter unterteilt.

Die Ausdehnung der Interpretation auf multitemporale Vorgänge war ein weiterer Teil der Zielsetzung. Zu diesem Zwecke wurde für das betrachtete Gebiet das Vorwissen über die wahrscheinlichsten zeitlichen Veränderungen (temporales Wissen) verwendet. Während bei einer unabhängigen Interpretation der einzelnen Zeitpunkte für jedes Gebiet alle Interpretationsmöglichkeiten offen sind, kann bei Nutzung des temporalen Wissens der Suchraum für die Interpretation eines neuen Zeitpunktes eingeschränkt werden. Gleichzeitig sinkt die Wahrscheinlichkeit der Fehlinterpretation. Zur Repräsentation und Nutzung des temporalen Wissens wurden Zustandsübergangsdiagramme eingeführt und in das Verfahren eingebunden.

4 Klasseneinteilung

Um eine Interpretation des Mooregebietes durchführen zu können, ist eine Unterteilung des Gebietes in unterschiedliche Klassen notwendig. Dazu ist untersucht worden, welche Klassen sich im Mooregebiet aus CIR-Luftbildern unterscheiden lassen. Das Ziel dieser Untersuchung war die Bildung von Moorklassen für die automatische Interpretation der Mooregebiete. Um abschätzen zu können, wie viele und welche Moorklassen automatisch von einem wissensbasierten System aus Luftbildern unterschieden werden können, wurde davon ausgegangen, dass die obere Grenze durch die Anzahl der Klassen abgeschätzt werden kann, die ein erfahrener Auswerter interaktiv unterscheiden kann. Diese Aussage beruht auf der Annahme, dass der erfahrene Auswerter bei derartigen Bildern in der Lage ist, mindestens so viele Klassen zu unterscheiden, wie ein automatisches Interpretationssystem.

Die Eingangsdaten dieser Untersuchung waren CIR-Luftbilder im Maßstab 1 : 10000 aus einem Mooregebiet. Die Aufgabe bestand darin, festzustellen, welche Klassen visuell aus den verwendeten Bildern durch einen erfahrener Auswerter unterschieden werden können. In Abb. 1 ist das Ergebnis der Untersuchung dargestellt. Das



Abb. 1: Klasseneinteilung für Mooregebiete.

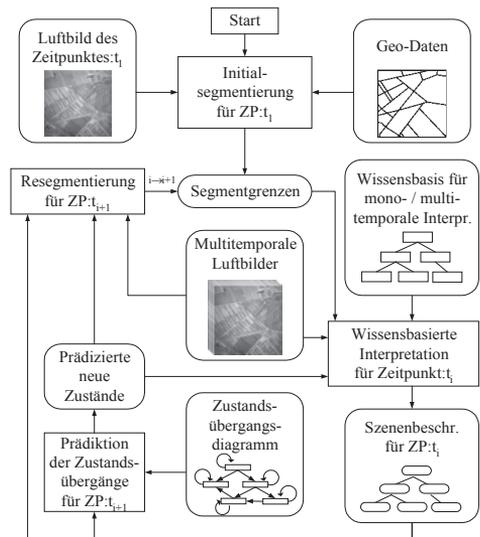


Abb. 2: Ablauf der multitemporalen Interpretation.

Ergebnis dieses Vorganges waren 14 Moor-
klassen, die gleichzeitig die feinste Unter-
scheidung bildeten. Daraufhin wurden sehr
ähnliche Klassen zu größeren Klassen akku-
muliert. Letzteres wurde mehrmals durchge-
führt. Dargestellt sind die größte und feinste
Verfeinerungsstufe.

Die hier vorgenommene Klasseneinteilung
bildete die Grundlage für die Klassen-
einteilung des Interpretationssystems, wo-
bei die Klassen landwirtschaftlich genutzte
Fläche und Wald in der verfeinerten Form
nicht weiter untersucht wurden. Da sich die
Klassen der Verfeinerungsstufe 1 relativ
stark voneinander unterscheiden, war deren
Unterscheidung das Minimalziel für das
automatische Interpretationssystem. Das
optimale Ziel war die Unterscheidung nach
der Verfeinerungsstufe 2. Da diese Unters-
uchung aus einem Bild eines Zeitpunktes
durchgeführt wurde, konnten weitere Klas-
sen bei multitemporaler Betrachtung hinzu-
kommen.

5 Verfahren

5.1 Systemaufbau

In Abb. 2 ist der Ablauf der multitempora-
len Interpretation dargestellt. Beginnend
beim Startpunkt wird eine Initialsegmentie-

rung durchgeführt. Dabei werden sowohl
die Bilder des ersten Zeitpunktes t_1 als auch
Geo-Daten berücksichtigt (siehe Kapitel 3).
Das Ergebnis der Initialsegmentierung sind
Segmentgrenzen, die Ausgangspunkt der
weiteren iterativen Interpretation sind.

Innerhalb der Segmentgrenzen wird für
jedes Segment eine Interpretation (siehe Ab-
schnitt 5.2) durchgeführt, wobei für den ers-
ten Zeitpunkt eine andere Wissensbasis ver-
wendet wird, als für die weiteren. Der Grund
hierfür liegt darin, dass temporale Historie
für den ersten Zeitpunkt nicht existiert. Das
Ergebnis für den ersten Zeitpunkt ist eine
Szenenbeschreibung, die die Interpretation
der untersuchten Segmente darstellt. Sie
wird für die Fortführung der Interpretation
für den Zeitpunkt t_{i+1} genutzt, um eine Prä-
dixtion der Zustandsübergänge und damit
eine Prädixtion neuer Zustände durchzu-
führen. Hierzu wird ein Zustandsübergangs-
diagramm, welches das temporale Wissen
über die möglichen Zustandsübergänge be-
schreibt, verwendet. Dieses wird in Ab-
schnitt 5.3 näher erläutert.

Beim Übergang vom Zeitpunkt t_i nach
 t_{i+1} können sich die Segmentgrenzen verän-
dern. Aus diesem Grund ist im System eine
Komponente enthalten, die eine Resegmen-
tierung basierend auf den alten Segment-

grenzen durchführt. Hierzu werden zusätzlich die Bilddaten des Zeitpunktes t_{i+1} zusammen mit den Informationen über die möglichen Zustandsübergänge verwendet. Aus der Resegmentierung entstehen die neuen Segmentgrenzen, in denen für den neuen Zeitpunkt t_{i+1} unter Verwendung der Wissensbasis für die multitemporale Interpretation und der möglichen Zustandsübergänge die wissensbasierte Interpretation durchgeführt wird. Auf diese Weise wird die Iteration fortgesetzt, bis alle Zeitpunkte interpretiert worden sind.

Eine ausführliche Beschreibung des erstellten Verfahrens ist zu finden in PAKZAD (2001).

5.2 Wissensbasis und Interpretation

Das für diese Arbeit verwendete wissensbasierte Interpretationssystem AIDA (Automatic Image Data Analyser) nutzt als Wissensbasis Semantische Netze und arbeitet regelbasiert. Semantische Netze bestehen aus Knoten und Kanten. Die Knoten beschreiben Objekte oder Merkmale, die Kanten beschreiben Relationen zwischen den Knoten. Als Wissensbasis wird initial mit Hilfe eines Semantischen Netzes ein Konzept erstellt. Im Verlauf der Interpretation stellt das System, basierend auf dem Konzept, entlang der Relationen Hypothesen auf und überprüft sie in den Bildern. Dieser Prozess wird als Instanzierung bezeichnet und erfolgt regelbasiert. Eine nähere Beschreibung des Systems ist zu finden in TÖNJES (1999) und in GROWE (2001).

In Abb. 3 ist ein Teil des Semantischen Netzes, das zur Interpretation der Moor-klassen verwendet wurde, dargestellt. Es werden zwei Abstraktionsebenen unterschieden: Szenenebene und Luftbildebene. In der Szenenebene werden die unterschiedlichen Klassen mit ihren obligatorischen Teilen beschrieben. Die Knoten in der Luftbildebene beschreiben die Abbildung der Szeneknoten und deren Eigenschaften im CIR-Luftbild. Sie repräsentieren die Texturen und Farben, nach denen gesucht werden muss, um ein Segment einer bestimmten Klasse zuzuordnen. Auf diese Weise werden

sowohl Farb- als auch Texturinformationen genutzt.

Die Knoten auf unterster Ebene haben jeweils Zugriff auf spezielle Bildverarbeitungsoperatoren. Diese verifizieren die Hypothesen in den CIR-Luftbildern auf Pixel-ebene. Im Verlauf der Interpretation wird nach dem Aufstellen der Hypothesen auf unterster Ebene jeweils der Operator aufgerufen.

Die Interpretation der Klasse *Sträucher/Gehölz-Stadium* würde beispielsweise damit beginnen, dass für ein Luftbild-Segment eine Hypothese für diese Klasse aufgestellt wird. Da im Konzeptnetz als obligatorischer Teil eine *mittlere Bedeckung mit grober Struktur* vorgegeben ist, wird danach entlang der part-of Relation dafür eine Hypothese aufgestellt. Laut Konzeptnetz bildet sich dies als *unregelmäßige Struktur* im Luftbild ab, weswegen auch für diesen Knoten eine Hypothese aufgestellt wird. Da Top-Down keine weiteren Knoten mehr existieren, muss die letzte Hypothese im Luftbild verifiziert werden. Dazu wird ein Bildverarbeitungsoperator aufgerufen, der genau dieses tut. Findet der Operator im Segment derartige Strukturen, wird die Hypothese bestätigt und nach oben hin werden alle darauf basierenden Hypothesen ebenfalls bestätigt.

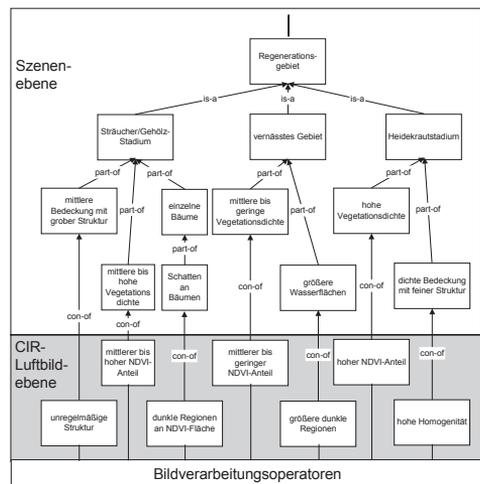


Abb. 3: Teil des verwendeten Semantischen Netzes mit der Wissensbasis.

Nun würde die Interpretation mit der Überprüfung der weiteren obligatorischen Teile fortgesetzt werden. Wenn eines der obligatorischen Teile nicht gefunden wird, gilt die Klasse als nicht erkannt.

5.3 Temporale Wissensbasis

In Abb. 4 ist das Zustandsübergangsdiagramm, das zur Interpretation des Moorgebietes verwendet wurde, dargestellt. Es beinhaltet die möglichen oder wahrscheinlichsten Zustandsübergänge und es besteht aus Knoten und Verbindungen. Die Knoten beschreiben die unterschiedlichen Zustände, die die Regionen annehmen können, die Verbindungen die wahrscheinlichsten Zustandsübergänge.

Ausgegangen wird von dem Zustand naturnahes Hochmoor. Er kommt in dieser Form im betrachteten Gebiet, ebenso wie in vielen anderen Moorgebietes in Deutschland, nur in geringem Maße vor und ist daher nur der Vollständigkeit wegen aufgeführt. Das Degenerationsgebiet bildet in der Regel den Ausgangszustand der übrigen Zustände. Die Degeneration ist als vorbereitende Maßnahme, bei der durch Gräben eine Entwässerung durchgeführt wird, zum Torfabbau notwendig. Ist dies geschehen,

erfolgt in der Regel ein Zustandsübergang zum Torfabbaugebiet.

Es werden zwei Arten von Torfabbau unterschieden: die Flächenabbau- und die Streifenabbaumethode. Wird beispielsweise die Flächenabbaumethode angewendet, wird für die Folgezeitpunkte entweder ein Verbleib in dem gleichen aktiven Zustand erwartet, oder es findet ein Übergang zum inaktiven Torfabbau statt. Dieses zeigt sich dadurch, dass keine Abbauspuren mehr erkannt werden können, sich jedoch auch bislang keine oder nur wenig Vegetation darauf angesiedelt hat. Es kann aber auch vorkommen, dass nach einer inaktiven Zeit wieder der Torfabbau aufgenommen wird. Dies kann geschehen, wenn beispielsweise auf Grund der Marktlage kurzfristig der Torfabbau eingestellt wurde. Wenn Torfabbau in Streifenmethode detektiert wurde, müssen die Teile Abbausegment und Bunkerde getrennt voneinander behandelt werden. Die Methode des Streifenabbaus beruht darauf, dass Torf zunächst auf jedem zweiten Streifen abgebaut wird, während die Mittelstreifen mit der Bunkerde nicht angestastet werden. Ist dieser Vorgang beendet, werden die Streifen mit Bunkerde auf die Streifen der Abbaugelände umgesetzt. Dies geschieht jedoch in der Regel nur einmal. Im Zustandsübergangsdiagramm wird diese Tatsache ausgenutzt, indem zwischen Bunkerde vor dem Torfabbau und danach unterschieden wird. Wird Bunkerde auf ein Segment geschüttet, in dem vorher bereits Torf abgebaut wurde, kann danach mit Hilfe des beschriebenen Vorwissens darauf verzichtet werden, für die nächsten Zeitpunkte wieder nach Abbausegmenten zu suchen.

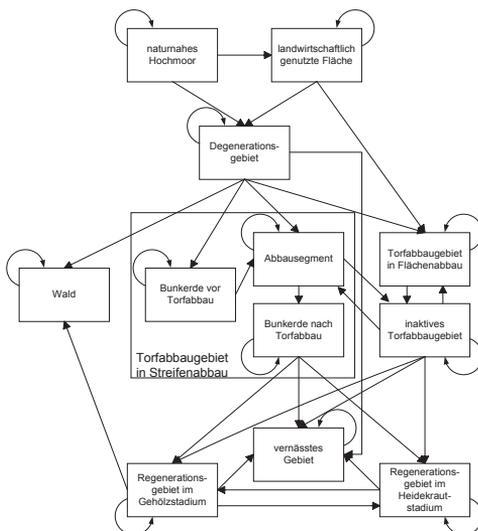


Abb. 4: Zustandsübergangsdiagramm für Moor.

6 Ergebnisse

Das verwendete Testgebiet war das Tote Moor am Steinhuder Meer nordöstlich von Hannover. Die nachfolgend aufgeführten Ergebnisse sind in einem Gebiet der Größe 1750 m × 1500 m erstellt worden.

Es wurden CIR- und Schwarzweiß-Luftbilder mit einer Bodenpixelgröße von 0,5 m × 0,5 m verwendet (teilweise mit freundlicher Genehmigung des LGN, Lan-

desvermessung + Geobasisinformation Niedersachsen und des KGH, Kommunalverband Großraum Hannover). Dies entspricht einer Bildgröße von 3500×3000 Pixel. Insgesamt wurden Bilder von den fünf Zeitpunkten 1962, 1969, 1981, 1989 und 1998 verwendet, wobei die Bilder der letzten beiden Zeitpunkte CIR-, die restlichen Schwarzweiß-Luftbilder waren. In Abb. 5 ist für einen Teil des Testgebietes das Ergebnis der multitemporalen Interpretation dargestellt. Ausgehend von 11 Segmenten für den Interpretationszeitpunkt 1962 entstanden für dieses Testgebiet durch Resegmentierungen bis zum letzten Zeitpunkt 1998

insgesamt 17 Segmente. Während die meisten Flächen (98%) für 1962 als Degenerationsgebiet interpretiert wurden, nahm der Anteil für 1998 auf ca. 18% ab, während Wald und inaktive Torfabbaugebiete den größten Anteil ausmachten.

Die erzielten Ergebnisse wurden mit einer manuell durchgeführten Interpretation durch einen erfahrenen Auswerter verglichen. Dabei ergab sich, dass bis auf einige wenige Ausnahmen die Klassen korrekt erkannt worden sind.

Im Zentrum des Testgebietes kann sehr gut der komplette Verlauf eines Torfabbaus betrachtet werden, angefangen von der Ent-

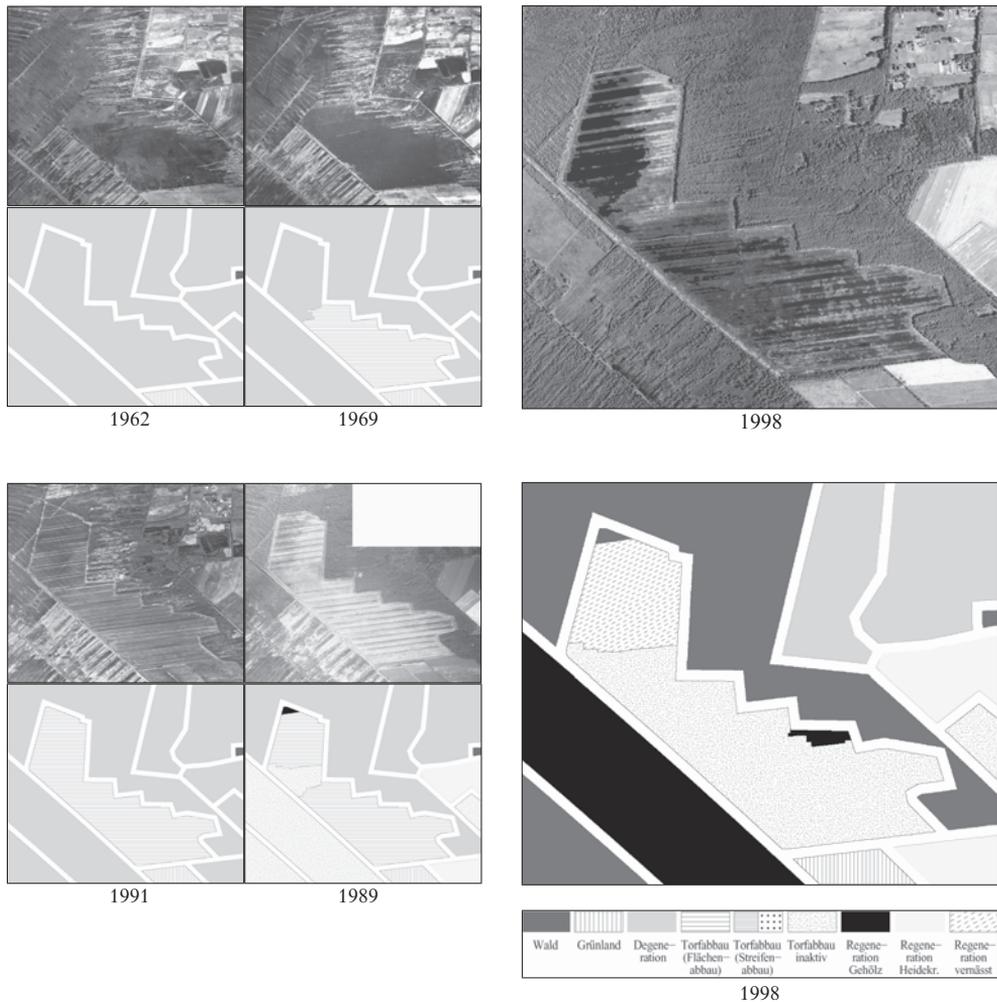


Abb. 5: Verwendete Luftbilder und Ergebnisse der Interpretation.

wässerung (Degenerationsgebiet) über den Torfabbau bis hin zur Wiedervernässung. Durch die Verwendung des Zustandsübergangsdiagramms konnten diese Zustände auch aus den Schwarzweiß-Luftbildern erkannt werden.

Ein gutes Beispiel dafür, dass die erstellten Modelle nur für die Regionen angewendet werden können, für die sie aufgestellt worden sind, zeigt der nordöstliche Teil des Testgebietes: Dieser wurde falsch interpretiert. Dies liegt daran, dass dieses Gebiet nicht mehr zum Moor gehört und auf Grund dessen die Annahme und Interpretationsvoraussetzung, sich im Moorgebiet zu befinden, nicht mehr zutrifft. Weitere Ergebnisse sind in PAKZAD (2001) dargestellt.

7 Zusammenfassung und Ausblick

Es wurde ein Verfahren zur wissenschaftlichen multitemporalen Interpretation von Bildern vorgestellt. Die explizite Wissensrepräsentation erlaubt eine einfache Einbindung von Expertenwissen in das System, wobei zusätzlich zum Wissen über die multispektralen Eigenschaften, Textur und Form auch Wissen über räumliche Nachbarschaften und zeitliche Veränderungen eingebracht und verwendet werden kann. Das temporale Wissen wird dabei über Zustandsübergangsdiagramme beschrieben, die genutzt werden, um eine Prädiktion von Folgezuständen durchzuführen. Diese Strategien wurden verwendet, um ein Verfahren zur Interpretation von industriell genutzten Moorgebieten zu erstellen. Die Gesamtstrategie des Verfahrens besteht in der Interpretation der Bilder eines Zeitpunktes, einer Resegmentierung der Gebiete und einer Prädiktion neuer Zustände. Insgesamt zeigten diese und weitere Ergebnisse, dass die Verwendung von strukturellen Merkmalen und von temporalem Wissen die Anzahl der interpretierbaren Klassen erhöht, die Interpretationssicherheit verbessert und auch

eine Interpretation von Schwarzweiß-Luftbildern zulässt.

Die zukünftige Entwicklung in diesem Bereich wird sich darauf konzentrieren, in den verwendeten Modellen noch mehr relevantes Expertenwissen nutzen zu können und dafür die entsprechenden Mechanismen zu entwickeln. Zudem sollen die entwickelten Strategien verwendet werden, um für andere Bereiche strukturelle und multitemporale Interpretationen durchzuführen.

8 Literatur

- EIGNER, J. & SCHMATZLER, E., 1991: Handbuch des Hochmoorschutzes – Bedeutung, Pflege, Entwicklung. – 158 S., Kilda-Verlag, Greven.
- GROWE, S., 2001: Wissensbasierte Interpretation multitemporaler Luftbilder. – Dissertation, Universität Hannover, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 10, VDI-Verlag, Düsseldorf.
- MAS, J.-F., 1999: Monitoring Land-Cover Changes: A Comparison of Change Detection Techniques. – *International Journal of Remote Sensing*, **20** (1): 139–152.
- PAKZAD, K., 2001: Wissensbasierte Interpretation von Vegetationsflächen aus multitemporalen Fernerkundungsdaten. – Dissertation, Universität Hannover, Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Heft Nr. 543, München.
- RHEIN, U., EHLERS, M., JENSEN, S., STÄHLE, B. & SCHMATZLER, E., 1997: Umweltmonitoring von Zustand und Nutzung der Hochmoore. – 162 S., Niedersächsisches Umweltministerium, Hannover.
- TÖNJES, R., 1999: Wissensbasierte Interpretation und 3D-Rekonstruktion von Landschaftsszenen aus Luftbildern. – Dissertation, Universität Hannover, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 10, Nr. 575, VDI-Verlag, Düsseldorf.

Anschrift des Autors:

Dr.-Ing. KIAN PAKZAD, Institut für Photogrammetrie und Geoinformation, Universität Hannover, Nienburger Str. 1, D-30167 Hannover.
e-mail: pakzad@ipi.uni-hannover.de

Manuskript eingereicht: Mai 2002

Angenommen: Mai 2002

Erhebungsmethoden, Programme und Nomenklaturen der Flächenbedeckung und Flächennutzung

GOTTHARD MEINEL & JÖRG HENNERSDORF, Dresden

Zusammenfassung: Informationen zur Bedeckung und Nutzung der Erdoberfläche sind Grundinformationen für Politik, Planung, Umweltschutz und Wirtschaft. Nach Darstellung der Bedeutung der Flächenbedeckungs-/ -nutzungsinformation werden die Probleme der Erfassung und die Aufnahmemethoden beschrieben und verglichen. Anforderungen an und Entwicklungstendenzen von Flächenbedeckungs- / -nutzungsnomenklaturen werden dargestellt und anschließend die Ergebnisse einer europaweiten Recherche nationaler und internationaler Erhebungsprogramme der Flächenbedeckung/-nutzung vorgestellt. Detailliert wird auf die beiden wichtigsten laufenden europäischen Programme CORINE und LUCAS eingegangen. Abschließend werden die Herausforderungen und Lösungsansätze für computergestützte Erhebungen von Flächeninformationen auf Basis von Satellitenbildmaterial dargestellt. Die Arbeit entstand im Rahmen des Teilprojekts NOMEN innerhalb von ProSmart II und wurde von Infoterra GmbH (Friedrichshafen) finanziert.

Summary: *Land Cover and Land Use – Survey methods, Programs and Nomenclatures.* Data about land cover and land use are fundamentally information for politics, planning, environmental protection and economics. After representation of the importance of land cover and land use information, the problems of the collection and the recording methods are described and compared. Requirements and development tendencies of land cover/use nomenclatures are represented. Afterwards the results of a European-wide investigation of national and international collection programs to land cover/use are introduced. The two most important current European programs CORINE and LUCAS are shown in detail. Finally the challenges and solutions for computer-assisted collections of surface information on basis of satellite photograph material are represented. This paper has been developed in the context of the subproject NOMEN within ProSmartII and was financed of Infoterra GmbH (Friedrichshafen).

1 Bedeutung von Flächenbedeckungs- und -nutzungsinformationen

Informationen über die Flächenbedeckung und -nutzung sind Grundinformationen für verschiedenste Anwendungsbereiche. In der Politik sind sie Grundlage für die Entscheidung über Entwicklungsprogramme (z. B. im Rahmen der europäischen Strukturförderprogramme) und die Erfolgskontrolle. In der Landwirtschaft werden die Daten für die Agrarstatistik, die Subventionspolitik und deren Kontrolle sowie die Ausrichtung der künftigen Agrarpolitik benötigt. Die Forst-

wirtschaft nutzt die Daten insbesondere für die Kontrolle der Bestandsentwicklung und die forstliche Planung. Höchste Bedeutung haben die Daten auch im Umweltschutz und in der räumlichen Planung. Im Umweltschutz, insbesondere im Bodenschutz, sind sie Grundlage für die Zustandsbeurteilung von Natur und Landschaft (z. B. Biotopzustand und -entwicklung, Schutzgebietszustand, Versiegelungserhebung und Landschaftsstrukturbewertungen). Die Planung beruht unmittelbar auf der Flächeninformation und benötigt sie in höchster Aktualität sowohl für die Planerarbeitung als auch für die Umsetzungskontrolle. Nicht zuletzt benötigt die Wirtschaft (z. B. Mobilfunk- und

Logistikunternehmen) Flächennutzungsdaten für ihre Dienstleistungen. Die Flächeninformationen werden in unterschiedlicher thematischer Ausrichtung und Differenzierung sowie unterschiedlicher räumlicher Genauigkeit nachgefragt.

2 Begriffsbestimmung

Grundsätzlich ist streng zwischen der Flächenbedeckung und der Flächennutzung zu unterscheiden. Unter *Flächenbedeckung* (engl. land cover) versteht man die physische Beschreibung des Raums, also die beobachtete (bio-)physische Bedeckung der Erdoberfläche (DI GREGORIO & JANSEN 1997). Man unterscheidet im Wesentlichen die biophysischen Kategorien Vegetationsflächen (Bäume, Büsche, Felder, Wiesen), unbewachsene Flächen (auch wenn dies eigentlich bedeutet, dass eine Bedeckung fehlt), harte Oberflächen (Felsen, Gebäude) sowie feuchte Gebiete und Gewässer (Wasserflächen, Feuchtgebiete). Die Flächenbedeckung kann mit unterschiedlichem Abstand zur Erdoberfläche „beobachtet“ werden: durch Begehung, durch Luftbilder oder mittels Satellitensensoren.

Bei der *Flächennutzung* (engl. land use) erfolgt die Beschreibung in Hinblick auf die funktionale Dimension, also den sozioökonomischen Zweck der Flächennutzung. Die wichtigsten Flächennutzungskategorien sind Wohn-, Industrie- oder Gewerbeflächen, land- oder forstwirtschaftliche Gebiete, Erholungs- oder Schutzgebiete. Die Flächennutzung kann im Gegensatz zur Flächenbedeckung nur teilweise, oft aber gar nicht unmittelbar beobachtet werden. Häufig sind zusätzliche Informationen unerlässlich.

Teilweise kann man von der Flächennutzung auf die Flächenbedeckung schließen und umgekehrt, doch oft ist die Verbindung nicht eindeutig bzw. offensichtlich. So kann bei einer Fläche, die von einem Weizenfeld bedeckt wird, auf eine landwirtschaftliche Nutzung geschlossen werden. Andererseits wird ein forstwirtschaftlich genutztes Gebiet der biophysischen Klasse des Typs „Baum“ entsprechen. In anderen Fällen kann eine

biophysische Kategorie (Flächenbedeckung) jedoch einer großen Anzahl funktionaler Kategorien (Flächennutzung) entsprechen. Bei mit Gras bewachsenen Flächen kann es sich zum Beispiel um einen Rasen in einem städtischen Umfeld, um das Rollfeld eines Flughafens, eine Wiese, einen Golfplatz oder ein begrüntes Hausdach handeln. Aber auch ein und dieselbe funktionale Klasse kann sich über mehrere biophysische Kategorien erstrecken: So besteht zum Beispiel ein Wohngebiet aus Rasenflächen, Gebäuden, asphaltierten Straßen, Bäumen und offenem Boden. Dieser in vielfacher Weise mehrdeutige Zusammenhang zwischen Bedeckung und Nutzung führt dazu, dass diese letztlich getrennt aufgenommen werden müssen.

3 Erhebungsprobleme und -methoden der Flächeninformation

3.1 Erhebungsprobleme

Die Erhebung von Flächenbedeckung und -nutzung ist sowohl aufwändig als auch methodisch schwierig. Der Aufwand flächendeckender Erhebungen ergibt sich allein aus der Größe der Fläche (für die Bundesrepublik müssen bei einer mittleren Flächengröße von 10 ha 3,5 Millionen! unregelmäßige Polygone kartiert werden). Aus methodischer Sicht ist die Flächenerhebung mit den folgenden Problemen verbunden:

Diversität der Flächenbedeckungsarten: Sowohl die biogene als auch die anthropogene Welt zeichnen sich durch eine riesige Arten-, Formen- und Objektvielfalt aus. Das macht die Identifizierung und Einordnung der Flächen zu einer bestimmten Flächenbedeckung oder Flächennutzung aus Fernerkundungsdaten schwierig.

Bedeckungsmischung: Die Zuordnung einer Flächenbedeckung/-nutzung zu einer bestimmten Klasse hängt stark von den definierten Beobachtungseinheiten ab. So sind sowohl Mehrfachnutzungen (z. B. Tiefgarage mit Grünflächenüberdeckung) als auch Mischbedeckungen innerhalb einer Flä-

cheneinheit häufig unvermeidbar (z. B. Bedeckungsmischung in der Klasse „Sport- und Freizeitanlagen“ (1.4.2.) von CORINE).

Räumliche Abgrenzung: Oft sind die Übergänge zwischen Bedeckungs- und Nutzungsarten fließend und damit ist eine eindeutige Abgrenzung nicht möglich. Diese betrifft sowohl die Abgrenzung biogener Flächen (z. B. die Klasse „Wald-Strauch-Übergangsstadien“ (3.2.4.) von CORINE) als auch die Nutzung anthropogen überformter Flächen (z. B. Hafentflächen).

Flächenbedeckungsänderungen: Sich zeitlich schnell ändernde Bedeckungen sind vom Beobachtungszeitpunkt abhängig. Die häufige Praxis der Auswertung einer ausschließlich monotemporal vorliegenden Bildinformation führt z. B. bei der Bestimmung von Gezeitenflächen oder Reisfeldern zu Problemen.

Flächennutzungsänderungen: Flächennutzungsänderungen müssen nicht zwingend mit einer Änderung der Flächenbedeckung verbunden sein. So kann z. B. innerhalb eines Gebäudes eine Wohnnutzung in eine öffentliche Nutzung oder eine Dienstleistungsnutzung übergehen und umgekehrt. Diese fallen aber in vielen Nomenklaturen in unterschiedliche Nutzungsklassen. Hier sind neben Bilddaten zwingend Zusatzdaten erforderlich.

Datenlage: Die Flächennutzung kann nicht allein aus fernerkundlichem Bildmaterial bestimmt werden. Häufig sind zusätzliche Informationen notwendig. Die Güte der Flächenbestimmung wird direkt durch Umfang, Qualität und Aktualität der Zusatzdaten mitbestimmt. Ob diese überhaupt vorhanden bzw. nutzbar sind, ist regional unterschiedlich.

Divergente Nutzerinteressen: Die Interessen der Nachfrager nach Flächendaten unterscheiden sich stark nach dem gewünschten Zielmaßstab, dem fachbedingten Interesse an der Nomenklatur der Bedeckungs- und Nutzungsklassen als auch der geplanten Weiterverarbeitung der Daten. Eine europaweite Flächenerhebung bedingt z. B. häufig eine gröbere Nomenklatur als eine ausschließlich regional durchgeführte Flächen-

erhebung. Fachbedingt hat z. B. der Forstbereich nur ein spezielles Interesse an forstlich genutzten Flächen, die allerdings hinsichtlich der Nomenklatur stark differenziert werden, während alle Nichtforstflächen nicht unterschieden werden. Gleiches gilt hinsichtlich der Landwirtschaft für Agrarflächen und ihre Differenzierung.

3.2 Erhebungsmethoden

Die Erhebung von Flächenbedeckungs- und -nutzungsinformationen ist prinzipiell möglich über bestehende Informationssysteme zur Flurstücksnutzung (Register, Kataster), Befragungen, Feldbegehung einschließlich Bewertung oder eine Auswertung fernerkundlicher Aufnahmen.

3.2.1 Katastergestützte Erhebungen

Flächennutzungsinformationen können aus bestehenden Datensammlungen administrativer und statistischer Register (in der Regel dem Kataster) entnommen werden. Die Datensammlungen müssen über eine hohe Genauigkeit und Aktualität verfügen und relevante Flächennutzungsinformationen beinhalten. So enthalten Grundbücher Flächennutzungsinformationen, aber im Gegensatz zu den Eigentümerangaben werden diese nicht immer aktualisiert. In Deutschland wird auf Basis von Katasterdaten die „Flächenerhebung nach Art der tatsächlichen Nutzung“ entsprechend dem Nutzungsartenverzeichnis der AdV erstellt. Die Daten werden alle 4 Jahre aggregiert und sind bis auf Gemeindebasis verfügbar. Ein weiteres nutzbares Informationsregister ist das Integrierte Verwaltungs- und Kontrollsystem der EU (InVeKoS) für flächenbezogene Beihilfen in der Landwirtschaft, dessen Informationen über die Flächennutzung höchst relevant sind, in dem die Registerdaten aber nur den Teil der Fläche abdecken, für die eine Förderung beantragt wurde.

Das Hauptprinzip bei der Nutzung von Katasterinformationen besteht in der Verknüpfung von physischen Flächeneinheiten mit ihrer konkreten örtlichen Lageinformation (Katasternummer, Adresse) und der

vorherrschenden sozioökonomischen Nutzung dieser Fläche. Dies kann dadurch erreicht werden, indem verschiedene zum Teil geocodierte und georeferenzierte Register bzw. Datenbanken miteinander verknüpft werden.

Die Vorteile der registergestützten Methode bestehen in der direkten Verknüpfung von Statistiken über menschliche Aktivitäten mit den dadurch beeinflussten Flächen. Dies bildet einen umfassenden Datenbestand für die Überwachung und Analyse des Zustandes und der Veränderung der Flächennutzung. Diese Methode zur Erstellung von Flächennutzungsstatistiken ist außerdem kosteneffizient. Durch die Einführung von GIS erhält die Nutzung von administrativen und statistischen Registern einen konkreten Raumbezug.

Ein Nachteil der Methode besteht darin, dass die in den Registern gespeicherten Informationen in Hinblick auf Vollständigkeit, Qualität und Aktualität nicht immer die erforderliche Güte aufweisen. Auch decken Register die Fläche nicht immer vollständig ab.

3.2.2 Fernerkundungsgestützte Erhebung

Fernerkundungsdaten erlauben in vielen Fällen eine Bestimmung der Flächenbedeckung und die Einschätzung der Lage, Verteilung und räumlichen Beziehungen von Objekten auf der Erdoberfläche. Fernerkundungssensoren erfassen einen größeren Teil des elektromagnetischen Spektrums als das menschliche Auge, wodurch es möglich ist, neben einer visuellen Interpretation der Bilddaten viele Objekte auch multispektral zu klassifizieren. Durch wiederholte Aufnahme eines Gebiets stellen die Daten eine einzigartige Quelle für Überwachungszwecke und das Erkennen von Veränderungen dar.

Die Fernerkundung spielt eine wichtige Rolle bei der Regional- und Stadtplanung. Allerdings hängt die Verwendung von Satellitendaten und die Möglichkeit, zum Beispiel Flächenbedeckungsklassen zu erkennen und zu identifizieren, von der spektralen

und räumlichen Auflösung der Satellitensensoren ab. Die räumliche Auflösung bestimmt den Arbeitsmaßstab. Satellitenbilder erlauben für gewöhnlich die Erstellung von Karten im Maßstab 1 : 10000 bis 1 : 100000. In einer stark strukturierten Landschaft ist zum Beispiel mit einer räumlichen Auflösung von 20 m × 20 m keine ausreichende Unterscheidung der Objekte, aus denen ein solches Gebiet besteht, möglich. Die relativ grobe räumliche Auflösung bedingt, dass aus Satellitenbildern abgeleitete Karten einen Maßstab aufweisen, der nicht immer zweckmäßig ist. Mit neuen hochauflösenden Satellitensystemen, wie IKONOS, kann diese Grenze drastisch herabgesetzt werden, so dass Karten mit einem Maßstab von bis zu 1 : 5000 erstellt werden können.

Vorteil der fernerkundlichen Erhebung ist die schnelle Durchführbarkeit und die damit erreichbare Aktualität der Flächeninformation. Die Aufnahmen können wiederholt werden und es sind gleiche Datengrundlagen auch für länderüberschreitende Kartierungen gegeben. Die Daten liegen flächendeckend und nicht nur parziell wie bei dem Flächenstichprobenverfahren oder der katastergestützten Flächeninformation vor.

Nachteile ergeben sich durch den derzeit noch hohen Auswertungsaufwand, um von Bilddaten Flächenbedeckungsinformationen abzuleiten. Auch sind Bedeckungs- aber nicht immer Nutzungsinformationen ableitbar. Verdeckte Flächen sind ohne Zusatzinformation überhaupt nicht kartierbar.

3.2.3 Flächenstichprobenerhebung

Im Gegensatz zu Fernerkundungserhebungen, bei denen das Gebiet vollständig kartiert wird, beruht das Flächenstichprobenverfahren, als statistischer Ansatz, auf der Auswahl und Beobachtung von repräsentativen „Gebietsstichproben“. Durch das Stichprobenverfahren soll eine gültige Verallgemeinerung ermöglicht werden, ohne dass das gesamte Untersuchungsgebiet studiert werden muss. Flächenstichprobenerhebungen werden insbesondere in der Ökologie (z. B. ökologische Flächenstichprobe

ÖFS des Statistischen Bundesamtes) und der landwirtschaftlichen Statistik zu Schätzungen der Anbauflächen eingesetzt (FAO 1996, MARS-Projekt). Es wurde eine große Anzahl statistischer Regeln entwickelt, um die Anwendung der Ergebnisse für die Stichprobe auf eine Grundgesamtheit zu ermöglichen. Beim Flächenstichprobenverfahren wird die Untersuchungsfläche in Teile (primäre Stichprobeneinheiten) gegliedert, von denen ein Set repräsentativer Proben ausgewählt wird. Die Stichprobeneinheiten können Punkte, Linien oder Quadrate/Polygone sein. Die ausgewählten Stichproben werden durch Feldbegehung, Befragung oder Luft- und Satellitenbilddaten hinsichtlich ihrer Flächenbedeckung/-nutzung aufgenommen und für die gesamte Bezugsfläche hochgerechnet. Die Auswahl der Stichproben erfolgt durch einen Stichprobenplan zufällig, systematisch oder geschichtet.

In der Praxis ist die Stichprobendefinition von den zu beobachtenden Variablen, der

erforderlichen statistischen Genauigkeit, den verfügbaren finanziellen Ressourcen sowie der zeitgerechten Bereitstellung von Ergebnissen abhängig. Die Anzahl der zur Beobachtung auszuwählenden Einheiten (Stichproben) wird durch die erforderliche Genauigkeit der geschätzten Merkmale der Grundgesamtheit bestimmt. Die Genauigkeit der Schätzung steigt mit zunehmender Größe der Stichprobe. Die Qualität oder Genauigkeit kann mit verschiedenen statistischen Maßen beurteilt werden. Die „beste“ Schätzung ist eine objektive mit der kleinsten Stichprobenvarianz. So ist z. B. die Flächenstichprobe „MARS“ dementsprechend konzipiert, dass sie auf europäischer Ebene hinreichend genaue Schätzungen erlaubt, nicht aber auf nationaler Ebene.

Der Vorteil der Flächenstichproben besteht darin, dass nur Teile der Fläche untersucht werden müssen. Dadurch kann man innerhalb der Stichproben sehr detaillierte und spezifische Informationen sammeln, die

Tab. 1: Methoden der Flächenerhebung im Vergleich.

	Katastergestützt	Stichprobe	FE-gestützte Kartierung
Erhebungsbasis	Kataster, Register	Sat.-/Luftbild, Begehung, Befragung	Sat.-/Luftbild
Auswertungsmethodik	Statistik, GIS	Statistik, GIS	Klassifikation/Kartierung, GIS
Raumbezug	Flurstück	Stichprobe	Pixel
Anwendung	Politik, Statistik	Politik, Statistik	Planung
Flächennutzungserhebung	++	+ (bei Begehung)	-
Flächenbedeckungserhebung	--	+	+
Inhaltliche Genauigkeit	+	++ (bei Begehung)	-
Flächendeckung	-	--	+
Aktualität	-	+	++
Ergebnisvisualisierung	-	--	++
FE-Bedeutung	-	-/+	++
Erhebungskosten	gering	hoch (bei Begehung)	hoch

++ sehr gut, + gut, - weniger gut, -- schlecht

zum Beispiel von der Fernerkundung nicht geliefert werden können. Das Verfahren ist relativ einfach durchführbar und ermöglicht die regelmäßige (jährlich oder saisonal), zeitgerechte Lieferung zuverlässiger Daten. Darüber hinaus ist es möglich, mittels Genauigkeitsschätzungen die Zuverlässigkeit und Effizienz zu beurteilen. Flächenstichproben liefern Statistiken, die für die allgemeine politische Entscheidungsfindung wertvoll sind. Für die konkrete Planung (z. B. Flächennutzungsplanung) auf lokaler Ebene, wo flächendeckende Daten erforderlich sind, sind diese Informationen von geringer Bedeutung.

Nachteil des Verfahrens ist letztlich die fehlende, ortskonkrete Information.

3.2.4 Erhebungsmethoden im Vergleich

In der Praxis findet man häufig auch Mischvarianten der vorgestellten Erhebungsverfahren. So kann z. B. die Bestimmung der Flächenbedeckung und -nutzung im Rahmen von Stichprobenverfahren auf Basis von Fernerkundungsdaten erfolgen (z. B. Arealstatistik der Schweiz, MARS), oder die örtliche Auffindung der Stichprobenfläche erfolgt neben GPS-Unterstützung auch durch fernerkundliches Bildmaterial (z. B. LUCAS). Jede Erhebungsmethode hat ihre Anwendungsbereiche und spezifischen Vor- und Nachteile. Tab. 1 zeigt die Erhebungsverfahren bezüglich bestimmter Auswahlkriterien im Vergleich.

Die Erhebungskosten richten sich nach der Aufnahmemethode. Prinzipiell gilt: Aggregationen aus Katastern sind preiswerter als Stichprobenerhebungen. Diese sind wiederum preiswerter als flächendeckende Kartierungen. Eine Fortschreibung (Aktualisierung) der Flächenerhebung ist preiswerter als eine Ersterhebung.

4 Klassifikationssysteme der Flächenbedeckung und -nutzung

Klassifikationssysteme (Nomenklaturen) sind Hilfsmittel, die den Aspekt Flächenbedeckung bzw. -nutzung der realen Welt mit-

tels definierter Regeln abstrakt beschreiben. SOKAL (1974) definiert „the ordering or arrangement of objects into groups or sets on the basis of their relationships“. Ein Klassifikationssystem sollte in klarer, präziser, objektiver und wenn möglich quantitativer Weise die Fläche vollständig, widerspruchsfrei und nichtüberlappend beschreiben (D. GREGORIO & JANSEN (2000)). Dazu muss es neben den Klassennamen auch die Beschreibung des Klasseninhalts und die Beziehungen zwischen den Klassen enthalten. Ein und dieselbe Realität kann mit Hilfe unterschiedlicher Klassifikationssysteme beschrieben werden, was allerdings zu Schwierigkeiten beim Vergleich von Informationen führen kann.

Ein Klassifikationssystem ist letztlich das Ergebnis einer ständigen Wechselwirkung zwischen einem systematischen Ansatz, durch den die Informationen nach logischen Grundsätzen strukturiert werden und einem pragmatischen Ansatz, der die Nutzerbedürfnisse und vorhandene Informationsbestände berücksichtigt.

4.1 Standardisierungsbemühungen

Anstrengungen bezüglich der Standardisierung flächenbezogener Nomenklaturen auf globaler Maßstabsebene zur Gewinnung aktueller und vergleichbarer Daten besitzen eine längere Historie. Erfolge konnten dabei insbesondere bei Nomenklaturen zum Boden und zur Vegetation erzielt werden. Seit 1960 arbeiten die UNESCO und die FAO an der globalen Harmonisierung von Bodennomenklaturen. Von 1960–80 wurde auf Anforderung der ISSS (International Society of Soil Science) eine „Soil Map of the World“ (SMW) durch die FAO erstellt. Weitere global angewandte Bodennomenklaturen sind die „Soil Taxonomie Classification“ der USDA, das französische CPC-System und die Russische Klassifikation. 1988 wurde die Legende der SMW unter Leitung von FAO, UNESCO und ISRIC überarbeitet. Davon ausgehend und mit den Erfahrungen der anderen global angewandten Nomenklaturen wurde die „World Reference Base for Soil Resources“ definiert, 1994/95 kar-

tografisch aufbereitet und in digitaler Form veröffentlicht. Derzeit wird auf dieser Grundlage im Rahmen des Programms WORLD-SOTER (World Soil and Terrain Database) eine weltweite Bodenkarte erstellt.

Bei der Harmonisierung von Vegetationsnomenklaturen nimmt die UNESCO eine Vorreiterrolle ein. 1969 erstellte diese das „Framework for a Classification of World Vegetation“, auch bekannt als „UNESCO classification of vegetation“. Auf diesem System basiert der vom „Federal Geographic Data Committee“ in Koordination mit der FAO und UNEP entwickelte „National Vegetation Classification Standard“, der als potenzieller globaler Standard für Vegetationskartierungen gelten kann, wobei Vegetationskartierungen Spezialfälle der Flächenbedeckungsaufnahme darstellen.

Aufgrund der Fülle verschiedenartiger, nicht vergleichbarer Nomenklaturen und dem Fehlen einer international allseits akzeptierten Nomenklatur bezüglich der Flächenbedeckung/-nutzung wurde von verschiedenen Seiten eine Standardisierung angestrebt. Es zeigte sich, dass bestehende Nomenklaturen der Flächenbedeckung/-nutzung eine Reihe von Mängeln enthielten (Inkonsistenzen, ungenaue Klassenbeschreibungen, Überlappungen oder Lücken in der Klassendefinition, nur für bestimmte Aufnahmesysteme, Maßstäbe, Regionen oder Nutzer anwendbar usw.). Im Rahmen des United Nations Environment Programme (UNEP) musste man 1993 feststellen, dass das Ziel der Definition einer einzigen weltweit gültigen Klassifikation der Flächenbedeckung und -nutzung unrealistisch ist. In den folgenden Jahren wurden Richtlinien zur Definition von Flächenbedeckungs- und Nutzungsnomenklaturen erarbeitet (WYATT et al. 1997). Die EU gab 1994 die Studien CLAUDE (Coordinating Land Use and Cover Data and Analyses in Europe) und LANES (Development of a Harmonised Framework for Multipurpose Land Cover/Land Use Information Systems Derived from Earth Observation Data) in Auftrag. Resultate aller Bemühungen waren letztlich ein besseres Problemverständnis, die For-

mulierung von Anforderungen an Nomenklaturen sowie einige größere Programme. Im Jahr 1997 hat die FAO (Food and Agriculture Organisation) ein universell anwendbares Bodenbedeckungssystem (Land Cover Classification System FAO-LCCS) entwickelt. Das baukastenartige, theoretische Konzept wurde in den Projekten Africover und Global Land Cover 2000 angewandt. Das Internationale Geosphere-Biosphere Programme (IGBP) publizierte ein globales Land-Cover-Produkt mit einer Rasterweite von 1 km, erarbeitet auf Basis von Satellitenbilddaten (BELWARD et al. 1999). Die Aktivitäten der European Environment Agency (EEA) mündeten in dem CORINE-Programm (Abschn. 6.1). Unter Federführung der Europäischen Statistikbehörde Eurostat wurde 1996 CLUSTERS (Classification of Land Use Statistics-Eurostat Remote Sensing Programme) definiert und 2000 das Erhebungsprogramm LUCAS (Abschn. 6.2) initiiert.

4.2 Einteilung von Nomenklaturen

Nichthierarchische Nomenklaturen: sind Nomenklaturen, welche aus einer Liste gleichberechtigt nebeneinander stehender Klassen bestehen. Sie sind damit sehr einfach aufgebaut und beinhalten in der Regel nur wenige Klassen. Derartige Nomenklaturen findet man bei sehr kleinmaßstäbiger Betrachtungsweise oder wenn die Einstufung weitestgehend automatisiert durch computergestützte Klassifikation erfolgen soll.

Hierarchische Nomenklaturen: sind die am häufigsten angewandten Nomenklaturen. Sie sind in Form von „Bäumen“ organisiert und ermöglichen gegenüber nichthierarchischen Nomenklaturen eine Anpassung an verschiedene Informationsebenen (Maßstäbe). Flächenbedeckung und -nutzung werden nach bestimmten Kriterien in Klassen und Unterklassen gegliedert. Dadurch ist es möglich, die thematische Vielfalt bei kleiner werdendem Kartierungsmaßstab und Analyseaufgaben einzuschränken. Nachteilig ist die starre Baumstruktur, die zu Schwierigkeiten führt, wenn eine Adap-

tierung ohne Veränderung der bisherigen Informationsstruktur vorgenommen werden soll. Die einzige Möglichkeit ist die Einführung detaillierterer Gliederungsstufen auf der Grundlage der bereits bestehenden Kategorien.

Baukasten-Nomenklaturen: Hier existieren einige wenige hierarchisch geordnete Grundklassen. Alle vorkommenden Landschaftselemente werden darunter als Grundelemente in einem umfangreichen Set von Features und Attributen bereitgestellt. Der Nutzer kann in Abhängigkeit vom Zweck und Maßstab mittels bereitgestellter Software eine eigene Nomenklatur entwerfen. Die Nomenklatur fokussiert auf die Flächenbedeckung; die Flächennutzung wird nicht berücksichtigt. Nach dem Baukastenprinzip funktioniert z. B. das „Land Cover Classification System“ der FAO mit seinen 8 Flächenbedeckungsgrundklassen. Angewandt wurde diese Nomenklatur insbesondere im Projekt „AFRICOVER“, einer Flächenbedeckungsaufnahme mehrerer afrikanischer Staaten im Maßstab 1 : 250 000, wobei für jedes Land eine spezifische Nomenklatur entwickelt wurde.

Nomenklaturen mit Layerprinzip: Nomenklaturen nach dem Layer-Prinzip unterscheiden verschiedene gleichberechtigte Layer, wobei die Fläche immer vollständig unter einem jeweiligen Gesichtspunkt in einem Layer aufgenommen wird. Die gebräuchlichste Form ist die Trennung von Flächenbedeckung und -nutzung. Erster Vertreter dieses Nomenklaturtyps ist TER-UTI, die jedem Beobachtungspunkt eine spezifische Flächenbedeckung bzw. -nutzung zuweist. Diese Nomenklatur war Vorbild für LUCAS (Abschn. 6.2). Auch SLICES unterscheidet Flächenbedeckung und -nutzung und ergänzt diese um die zwei weiteren Layer „Schutzgebiete“ und „Bodentyp“.

4.3 Begriffs- und Sprachprobleme

Internationale Nomenklaturen weisen neben Übersetzungsdifferenzen auch Schwierigkeiten durch erhebliche Unterschiede in der Semantik von Fachbegriffen auf, da es

oft keine Eins-zu-eins-Entsprechung zwischen lexikalischen Einheiten gibt. So ergibt z. B. das semantische Beziehungsfeld „Wald-Holz-Baum“ im Dänischen zwei, im Französischen und Deutschen drei sowie im Italienischen und Englischen vier unterschiedliche Wörter (Eco 1988).

4.4 Anforderungen an Nomenklaturen

Klassifikationen sollten grundsätzlich umfassend, wissenschaftlich fundiert, systematisch aufgebaut, praxisorientiert sowie flexibel anwendbar sein. Nachfolgend sind wesentliche Anforderungen an Nomenklaturen aufgelistet:

Räumliche Konsistenz: Klassifikationssysteme sind so zu gestalten, dass die Ergebnisse für unterschiedliche Regionen oder Länder im Untersuchungsgebiet kompatibel sind.

Zeitliche Konsistenz: Die Flächenbedeckung oder -nutzung sollte real zum Beobachtungszeitpunkt erfasst werden, d. h. ohne Berücksichtigung vergangener oder zukünftiger Nutzungen. So sollte z. B. in jeder Nutzungsnomenklatur die Klasse Baufläche enthalten sein, auch wenn die zukünftige Nutzung schon bekannt ist. Bauflächen sind zudem ein wichtiger Indikator für Flächennutzungsänderungen. Geplante Änderungen sind in Klassifikationssystemen nicht zu berücksichtigen, da deren Realisierung letztlich nicht gewiss ist.

Unabhängigkeit von Aufnahmesystemen: Klassifikationssysteme sollten von den Ressourcen, die für das Erfassen von Informationen zur Verfügung stehen, unabhängig sein. Oftmals wurden Nomenklaturen nach dem Informationsgehalt der Bilddaten bestimmter Fernerkundungssensoren ausgerichtet. Wenn ein Sensor seine Arbeit einstellt, kann das Klassifikationssystem nicht adaptiert werden. Die Kontinuität der Flächeninformationen ist somit nicht gegeben. Oft müssen Kompromisse zwischen den verfügbaren Hilfsmitteln und den Nutzerbedürfnissen (die sich beide weiterentwickeln) gefunden werden.

Maßstabskonsistenz: Nomenklaturen sollten unabhängig vom Erhebungsmaßstab

sein. Nur dieses ermöglicht häufig benötigte konsistente Bilanzen auf verschiedenen Aggregationsstufen.

Regelwerk: Die Einstufung der Objekte sollte durch festgelegte Regeln erfolgen, die wiederum auf klar definierte Kriterien aufbauen. Das Regelwerk sollte umfassend sein, aber mit einer minimalen Zahl von Regeln und Kriterien auskommen.

Vollständigkeit: Die Gesamtheit aller Klassen der Basisebene muss eine Fläche vollständig beschreiben, d. h. für jedes Objekt/Bedeckung muss eine Klasse gefunden werden. Die Beschränkung auf ausgewählte Flächenarten (z. B. nur vegetationsbestandene oder landwirtschaftlich oder forstlich genutzt) ist für eine allgemeine Nomenklatur nicht zulässig. Innerhalb einer hierarchischen Nomenklatur muß auf jeder Hierarchiestufe die Summe aller Klassen die übergeordnete Klasse vollständig abbilden.

Überschneidungsfreiheit: Die Klassen müssen sich ohne jegliche Überschneidung gegenseitig ausschließen. So sollten z. B. auch Mischklassen vermieden werden.

Kompatibilität mit bestehenden Informationssystemen: Ein neues Klassifikationssystem sollte kompatibel zu bedeutenden Flächeninformationssystemen sein, damit Informationsübertragungen prinzipiell möglich sind.

Mehrfachnutzerschaft: Flächenbedeckungs- bzw. -nutzungserhebungen sind sehr kostenintensiv. Viele, eigentlich dringend erforderliche Erhebungen bzw. Fortschreibungen werden aus Kostengründen nicht durchgeführt (z. B. Fortschreibung der Biotop- und Nutzungstypenkartierung im 5-Jahres-Turnus). Darum sollte in der Definitionsphase unbedingt an weitere potenzielle Interessenten gedacht und versucht werden, die unterschiedlichen Anforderungen abzustimmen.

4.5 Entwicklungstendenzen von Nomenklaturen

Trennung von Flächenbedeckung und Flächennutzung: Während in früheren Nomenklaturen die Flächenbedeckung und -nutzung immer vermischt wurden, wird diese

in Neueren wie LUCAS und SLICES zunehmend getrennt.

EU-Harmonisierung: Für verschiedene Fachpolitiken der EU sind Flächeninformationen von grundlegender Bedeutung (DG ENV, DG REGIO, EUROSTAT, EEA, OECD etc.). Diese sind nur bei einheitlicher Nomenklatur und Erhebungsmethodik vergleichbar. Bisher haben die einzelnen Mitgliedsländer überwiegend mit eigenen Nomenklaturen gearbeitet.

Steigende Genauigkeitsforderungen: Die Anforderungen an die Lagetreue, die Maßstäblichkeit (Mindestflächengröße) und die thematische Genauigkeit (Klassifikationsgüte) der Flächendaten steigen. Dieses erfordert auch die immer bessere Geodatenbasis der Nutzer, die die Flächendaten mit anderen digitalen raumbezogenen Datensätzen kombinieren wollen.

Änderungskartierungen: Die Geodatenbasis vieler Anwender wird immer umfangreicher. Dadurch wird zunehmend die Aufgabe einer Ersterhebung von Daten durch die Forderung nach einer Fortschreibung der Daten ersetzt. Dieses führt zu einer grundlegend anderen Methodik. Wird die fernerkundliche Bildverarbeitung für eine Datenfortschreibung benutzt, so werden häufig Change-Detection-Verfahren angewandt.

Überführbarkeit von Nomenklaturen: Auf Basis bestehender Nomenklaturen wurden inzwischen mit hohem finanziellen Aufwand umfangreiche Datenbestände erstellt. Selbst wenn durch die Nomenklaturentwicklung einige Nomenklaturdefinitionen nicht mehr als optimal betrachtet werden können, sind die darauf erhobenen Daten von unschätzbarem Wert, zum einen als Ausgangspunkt für Änderungskartierungen zum anderen als historische Zeitaufnahmen. Bei der Definition neuer Nomenklaturen wird darum zunehmend auf die Überführbarkeit in bestehende Nomenklaturen geachtet. So kann mit beschränkter thematischer Präzision auch die Information aus anderen Nomenklaturen genutzt werden.

Erhebungseffektivität: Flächenerhebungen sind sehr teuer. Der Auftraggeber ist in der Regel die öffentliche Hand, die über im-

Tab. 2: Übersicht bedeutender nationaler und internationaler Flächenerhebungsprogramme in Europa.

Name	Raumbezug	Maßstabzahl	Datengrundlage	Methode	Anwendung	Ebenen-/Klassenzahl	Ersterhebung	Fortschreibungszeit [a]
ATKIS25	D	25000	DGK5, TK10, TK25, Orthofotos	FE	Topographie, Kartographie	3/179	1991	ca. 5
Flächenerhebung (AdV)	D		Liegenschaftskarte (ALK)	Kataster	Statistik	3/254	1979	4
Biotop-/Nutzungstypenkartierung	D	10 000	CIR, TK5, TK10, Thematische Karten, Begehung	FE	Planung, Umwelt	4/365	1991	5 geplant, aber wegen Kosten nicht realisiert
TER-UTI	F		Luftbild, Begehung	Stichprobe	Statistik	81 Bedeckung, 25 Nutzung, keine Hierarchie	1969	1
BD-CARTO Land Cover	F	50000–50000	Satellitenbild (SPOT), Karten	FE	Kartographie, Umwelt, Administration, Planung	2/12	1991	1–3
Countryside Survey (CS90, CS2000)	GB	10000	Satellitenbild (Landsat), Begehung	FE, Stichprobe	Statistik, Umwelt	3/ca. 300	1978	1984, 1990, 2000
Land Use Change Statistic (LUCS)	GB	10000	Begehung		Statistik, Planung	3/24	1985	0,5 in Stadt, sonst 5
Land Cover Map (LCM2000)	GB	50000	Satellitenbild (Landsat), Thematische Karten, DTM	FE	Kartographie, Umwelt	2/26	1988/90	ca. 10 (wie CORINE)
Topographic Land Cover Map (BCN25)	E	25000	Luftbild	FE	Kartographie	25, keine Hierarchie	2000	5 (geplant)
CLC50	E	50000	Satellitenbild (Landsat), Luftbild, Karten, Statistik	FE	Kartographie, Umwelt	5/67	1987/91	wie CORINE
Carta de Ocupacao do Solo	P	25000	Luftbild	FE	Kartographie, Umwelt, Planung, Agrar, Forst	4/73	1990	5
Land cover/use mapping (CLC25)	I	25000	Satellitenbild, Luftbild, Karten	FE	Kartographie, Umwelt, Planung, Agrar	4/63	1998, in Bearbeitung	
Realraumanalyse	A	50000	Satellitenbild (KFA1000, Landsat TM), Thematische Karten, Topographische Karten, FCJR Luftbild	FE	Kartographie, Regionalplanung	3/97	2000	vorgesehen
Arealstatistik	CH	25000	Luftbild, Feldbegehung	Stichprobe, FE	Statistik, Planung, Umwelt	4/74	1979/1985	8
SLAM	FIN	50000	Satellitenbild (Landsat, SPOT), Topographische Karten, Field sample plot Daten, Gebäuderegister	FE	Kartographie, Umwelt, Planung, Forst	keine Hierarchie, 70 Klassen	1991	1994, 1997, 2002
SLICES	FIN	ca. 25000	Alle bereits existierenden digitalen geografischen Daten	FE, Kataster	Multiuser	125 in 4 hierarchische Layer (Nutzung, Bedeckung, Boden, Schutzgebiete)	1999	in Bearbeitung
National Land Survey (NLSS)	S	10000	Luftbild	FE	Kartographie	4		kontinuierlich vorgesehen

Swedish LC Data (CLC7/SLD)	S	50 000	Satellitenbilder (Landsat), digitale Daten des NLSS, Thematische Karten, Inventory plot Daten vom National Forest Inventory	FE	Kartographie, Umwelt	6/52	1999 (Pilotprojekt)	wie CORINE
Land Use Statistics	NL	10 000	Luftbild, Stadtplan, Topographische Karten, in Zukunft: Satellitenbild	FE	Kartographie, Statistik	2/35	1989	3 (1983, 1997)
Nat. LC-Database (LGN)	NL	50 000	Satellitenbild (Landsat, SPOT), Luftbild, Digitale topographische Daten, Feldbegehung	FE	Kartographie, Umwelt, Agrar, Planung	2/21	1986	5
Statistique de l'occupation du sol	B	500-5 000	Begehung, Administrative and fiskalische Daten	Kataster	Statistik, Administration	2/221	1976	1
Land Cover in Wallonia	B	50 000	Satellitenbild (Landsat, SPOT), CIR-Luftbild, Topographische Karten 1:50 000, Flächennutzungsplan 1:25 000	FE	Kartographie; Planung	Keine Hierarchie/ 16	1989	1993
CORINE LC Luxemburg	L	20 000	CIR, Begehung, Karten, Statistische Daten, Ortskenntnis	FE	Kartographie, Umwelt	5/91	1995	wie CORINE
CORINE (CLC50)	Ost-Europa	50 000	Satellitenbilder (Landsat, SPOT, IRS, COSMOS KVR-1000), TKs, thematische Karten, CLC100	FE	Kartographie, Umwelt	5/ca. 113	1996-1999	wie CORINE
Feature Attribute and Coding Catalog FACCS5	NATO	25 000	Orthophotos, thematische Karten, TK5/TK25	FE	Militär	3/310		auf Anforderung
Nat. Vegetation Class. Standard (FDGC-NVCS)	USA		Ground plot data samples; Luftbilder (1:24 000), Satellitenbilder (Landsat, SPOT) Video	FE, Stichprobe	Umwelt, Forst, Agrar	5/133	1997	
USGS-HRLC	USA	24 000	CIR-Orthophoto, Straßenkarten, TKs, Feldbegehung, Statistik	FE	Planung	6/48	1998	
FAO-LC Class. System (FAO-LCCS)	Int.		Nutzerabhängig	FE	Umwelt	3 Ebenen, 8 Klassen (Nutzerdifferenzierung möglich)	1996	auf Anforderung
MOLAND	Int.	25 000	Satellitenbild (IRS, IKONOS, SPOT, CORONA), Luftbild	FE	Planung, Umwelt	4/96	1999	auf Anforderung, nur für ausgewählte Städte
SPOT-Thema	Int.	50 000	Satellitenbild (SPOT) TK, Thematische Karten, Statistik, Stadtpläne	FE	Planung	2/29	1988	auf Anforderung
CLUSTERS	Europa	25 000-50 000	Satellitenbild, TKs, Statistik	FE	Kartographie, Statistik, Umwelt, Agrar, Planung	4/60	1994	auf Anforderung, nur in Pilotprojekten
CORINE Land Cover/ CLC2000	Europa	100 000	Satellitenbild (Landsat), Luftbild, Karten, Statistik	FE	Kartographie, Umwelt	3/44	1985	2000
LUCAS	Europa		OrthoLuftbild 1:10 000-1:2 000, topographische und thematische Karten, GPS, SABC, SCOLE, Begehung	Stichprobe	Statistik, Agrar, Umwelt	57 Bedeckungs-, 14 Nutzungsklassen, keine Hierarchie	2001	2 (geplant)

mer geringere Mittel verfügt. Darum gibt es einen intensiven Druck auf die Erhebungskosten, der nur durch effiziente Verfahren realisiert werden kann. Ein Mittel zur Effektivitätssteigerung ist die Automatisierung der Erhebung im Rahmen von Satellitenbildklassifikationen, an der intensiv gearbeitet wird.

Baukastensysteme für weltweite Nomenklaturen: Bei weltweiten Nomenklaturen wird zunehmend das Baukastenprinzip angewandt. Der Nutzer kann in Abhängigkeit von dem Zweck, dem Maßstab und der geografischen Lage mittels bereitgestellter Software auf Basis von Grundklassen eine eigene Nomenklatur entwerfen. Dadurch kann je nach geografischer Lage thematisch hinreichend genau kartiert werden, die Daten aber auf einer größeren thematischen Ebene weltweit verglichen werden (z. B. das „Land Cover Classification System“ der FAO).

5 Übersicht wichtiger nationaler europäischer Erhebungsprogramme

Tab. 2 zeigt eine Übersicht bedeutender nationaler und internationaler Flächenerhebungsprogramme insbesondere in Europa. Diese wurden durch Befragung, Literatur- und Internetrecherchen zusammengestellt, Detailinformationen durch Experteninterviews zusammengetragen und vergleichend analysiert.

6 Aktuelle europaweite Flächen-erhebungsprogramme

Europaweite Programme der Erhebung von Flächenbedeckung und -nutzung haben allein aufgrund ihres Umfangs eine besondere Bedeutung. Darum sollen hier die beiden laufenden Erhebungsprogramme, die nicht nur die EU-Länder, sondern im Fall von CORINE Land Cover auch die meisten osteuropäischen Länder in der Erhebung mit berücksichtigen, detaillierter dargestellt werden.

6.1 CORINE Land Cover

CORINE Land Cover ist ein europaweites Vorhaben, dessen Ziel die Bereitstellung einheitlicher und vergleichbarer Flächenbedeckungsdaten für das Gebiet der Europäischen Union (EU) mit dem Themenschwerpunkt Umwelthanwendungen ist. Das auf der Auswertung von Landsat-TM-Satellitenbildern basierende Datenerhebungskonzept auf dem Maßstabsniveau 1 : 100000 unterscheidet 44 Flächenbedeckungskategorien. Es sieht – bei einer Erfassungsuntergrenze von 25 ha – den Nachweis der konkreten geografischen Lage jeder homogen bedeckten Bodenfläche (Erhebungseinheit) vor. Flächen linienförmiger Ausdehnung (z. B. Gewässerläufe) werden ab einer Breite von 100 m erfasst. In der Ersterhebung in den Jahren 1985–1995 für alle EU- und die PHARE-Länder wurde die visuelle Interpretation auf Basis von Deckfolien auf georeferenzierten und im Blattschnitt der TK 100 ausgegebenen Satellitenbilddaten ermittelt.

Mit dem Jahre 2000 wird der CLC-Datensatz fortgeschrieben. Die Fortschreibung erfolgt durch unmittelbare Bildschirmdigitalisierung, was die Lagegenauigkeit wesentlich erhöht und die Kosten senkt. Grundlage ist ein orthorektifiziertes Landsat-TM7-Satellitenbildmosaik von ganz Europa (IMAGE 2000) zum Aufnahmejahr 2000 (Snap shot of Europe for year 2000). Aus diesem wird bis Ende 2003 eine Flächenbedeckungskarte (CLC 2000) abgeleitet. Nutzungsänderungen > 5 ha zwischen Erst- und Zweitaufnahme werden in einem zusätzlichen GIS-Datensatz (CHANGE) erarbeitet. Ausgehend von dem CLC-Konzept sind nationale Vertiefungen sowohl hinsichtlich des Maßstabes (1 : 50000, 1 : 25000) als auch des Klassifikationsschlüssels (weitere Gliederungen unterhalb der 3. Hierarchieebene) möglich.

Auf europäischer Ebene wird der Aufbau von CLC durch das European Topic Center on Terrestrial Environment im Verantwortungsbereich der Europäischen Umweltagentur koordiniert. Die jeweilige nationale Verantwortung liegt in der Regel in den

Tab. 3: Vergleich der CLC-Erhebungen von 1990 und 2000.

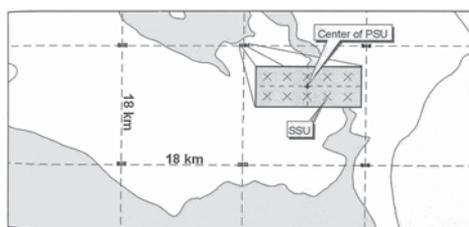
	CLC 1990	CLC 2000
Bildaufnahmezeit	1986–1995	2000 + / – 1 Jahr
Bildauflösung	30 m	30/15 m
Lagegenauigkeit	100 m	25 m
Minimale Flächengröße	25 ha	25 ha
Minimale Größe von Flächenänderungen	–	5 ha
Projektlaufzeit	10 Jahre	3 Jahre
Erhebungskosten	6 EUR/km ²	3 EUR/km ²

Händen der Statistischen Ämter der Länder in Zusammenarbeit mit den nationalen Umweltverwaltungen.

6.2 LUCAS (Land Use/Cover Area Frame Statistical Survey)

Die europäische Umwelt-, Landwirtschafts-, Verkehrs- und Raumordnungspolitik benötigt konsistente, harmonisierte Informationen zur Flächenbedeckung und -nutzung in Europa. Darum hat die DGA (Directorate General Agriculture) und das Statistische Amt der Europäischen Union EUROSTAT in Weiterentwicklung des französischen Erhebungsprogramms TER-UTI das Programm LUCAS (Land Use/Cover Area Frame Statistical Survey) im Jahre 2000 initiiert. Das Programm unterscheidet zwischen Flächenbedeckung und -nutzung. Eine Kreuztabelle zwischen diesen Größen kennzeichnet erlaubte Kombinationen von Nutzungs- zu Bedeckungsklassen. Auf die Differenzierung landwirtschaftlicher Nutzung wird besonderer Wert gelegt. Die Flächenerhebung erfolgt nach einem Stichprobenverfahren. Europa wird dazu mit einem Rasternetz der Maschenweite 18 km × 18 km (Primary Sampling Unit (PSU), Abb. 1) überzogen.

Jeder Schnittpunkt wird wiederum durch die Second Sampling Units (SMU) in 2 Reihen á 5 Punkte mit einem Abstand von jeweils 300 m zerlegt. Die Flächenbedeckung und -nutzung wird dann jeweils in einem Kreis mit dem Radius von 1,5 m bestimmt.

**Abb. 1:** Probenmessraster im LU/LC-Programm LUCAS.

Für weitere nationale Vertiefungen kann die Maschenweite auf 6 bzw. 3 km verdichtet oder aber die SMU auf 5 Reihen á 5 Punkte erweitert werden, um die Genauigkeit der statistischen Aussage zu verbessern. Die exakte Punktaufindung wird durch Orthofotos erleichtert, denn die Anforderung an die Lagegenauigkeit ist mit < 3 m sehr hoch. Es wird eine thematische Genauigkeit der Hauptklassen von < 2% angestrebt. Die Bestimmung erfolgt durch Begehung der ca. 100 000 Stichprobenpunkte in Europa jeweils im Frühjahr. Neben der Flächeninformation werden auch Angaben zur Bodenerosion, der Lärmbelastung, der Landschaftssituation und des Reliefs erhoben. In der zweiten Phase werden jeweils im Herbst Interviews mit Bauern zur technischen und Umweltsituation geführt. Die Ersterhebung wurde für 13 EU-Länder 2001 abgeschlossen und soll 2003 wiederholt werden. Eine zweijährliche Datenfortschreibung ist geplant.

7 Ausblick

Die Möglichkeiten der Bestimmung der Flächenbedeckung und -nutzung werden sich in den nächsten Jahren entscheidend verbessern. Die Verfügbarkeit von fernerkundlichem Bildmaterial, welches in den meisten Fällen die Grundlage für eine Flächenbestimmung ist, wird sich durch die zunehmende Zahl von Fernerkundungssensoren verbessern. Durch Radarsensoren wie dem geplanten TerraSAR-Satelliten wird durch die Allwettertauglichkeit die Verfügbarkeit von Bildmaterial operationell. Weiterhin hat das neue Bildmaterial eine höhere geometrische, radiometrische und temporale Auflösung. So ist auf Basis höchstauflösender Satellitenbilddaten (1 m-Bodenauflösung wie IKONOS und 0,6 m QuickBird) eine genauere Flächenkartierung möglich. Die Informationslage wird weiter verbessert durch hochgenaue digitale Gelände- und Oberflächenmodelle, erhoben durch Laserscanner, die unmittelbar einen Rückschluss auf die Flächennutzung im Fall von Gebäuden oder aber teilweise auch einen Ausschluss bestimmter Nutzungsarten (z. B. extreme Hangneigungen) ermöglichen. Letztlich ermöglichen hyperspektrale Sensoren eine differenzierte Bestimmung der Flächenbedeckung. Derartige Aufnahmen werden allerdings aufgrund ihres hohen technischen Aufwandes und Preises nur speziellen und räumlich begrenzten Projekten vorbehalten bleiben. Auch die Geodatenbasis, die im Rahmen der Flächenaufnahme eine große Rolle spielt, verbessert sich zunehmend durch die Digitalisierung analoger Datenbestände und die Existenz von Vorklassifikationen. Für europaweite Erhebungen ist allerdings die sehr unterschiedliche Verfügbarkeit von Geobasisdaten ein erhebliches Problem.

Doch nicht nur auf Seiten der Informationsbasis geht die Entwicklung schnell voran, auch die Auswertungsmethodik verbessert sich laufend. Flächenbedeckungs- und -nutzungsbestimmungen erfolgen, wenn sie auf Basis von fernerkundlichem Bildmaterial erhoben werden, derzeit in der Regel noch durch visuelle Interpretation. Aller-

dings hat sich die Bildschirmkartierung gegenüber der Kartierung auf analogem Bildmaterial durchgesetzt, da hier Zeit- und Kostenersparnisse erzielt werden können, die Bestimmungsgüte durch Bildverbesserungen erhöht und auch die Lagetreue der Kartierung verbessert werden kann. Ziel ist es, von der kostenintensiven visuellen Interpretation zu einer automatischen Bildklassifikation zu kommen. Noch gelingt es aber derzeit nur sehr unvollkommen, die Flächeninformation allein auf Basis einer automatischen Bildklassifikation abzuleiten.

Segmentbasierte Klassifikationsansätze versuchen die Zuordnung zu einer Klasse nicht auf Basis der einzelnen Pixel, sondern zerlegen das Bild zuerst in Segmente, die relativ homogen sind. Durch Wiederholung dieser Segmentierung auf verschiedenen Skalenniveaus kann dem ebenfalls hierarchisch strukturierten Erkennungssystem des Menschen nahe gekommen werden. Zwischen den Segmentebenen können dann unter- und übergeordnete Segmente miteinander verbunden werden, was den meist hierarchisch aufgebauten Klassifikationsschlüsseln entgegenkommt. Durch dieses hierarchische Segmentnetzwerk sind auch Nachbarschafts- und Hierarchieinformationen nutzbar. In diesen Klassifikationsprozess können auch andere Daten auf Raster- oder Vektorbasis eingebunden werden (frühere Klassifikationen, Straßendatenbanken, Blockkarten usw.).

Da sich zunehmend die Aufgabenstellung von einer Ersterhebung der Flächenbedeckung/-nutzung hin zu einer Fortschreibung bestehender Datensätze ändert, werden Change-Detection-Verfahren eine wachsende Bedeutung gewinnen. Hier werden aus den Bilddaten nur Flächenänderungen gegenüber früheren Aufnahmen zur Weiterführung der Geoinformation detektiert und bewertet. Trotz dieser Entwicklungen wird die Bestimmung von Flächenbedeckung und -nutzung eine große Herausforderung bleiben und noch erheblicher Forschungsarbeit bedürfen.

Danksagung

Die Autoren danken der Firma Infoterra für die Finanzierung der Arbeit, die im Rahmen des Projekts NOMEN innerhalb von ProSmart II erfolgte.

Literatur

- Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV), 1991: Verzeichnis der flächenbezogenen Nutzungsarten im Liegenschaftskataster und ihrer Begriffsbestimmungen. – Mainz.
- Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV), 2001: ATKIS-Objektartenkatalog – Teile D0 und D1 der ATKIS-Gesamtdokumentation (Stand 15. 03. 2001), http://www.atkis.de:8080/meta/livehtml/dst_do.html, Leipzig.
- BAATZ, M. & SCHÄPE, A., 1999: Object-oriented and multi scale image analysis in semantic networks. – In: Proceedings 2nd International Symposium on Operationalisation of Remote Sensing Conference and Exhibition.
- BELWARD, A. S., ESTES, J. E. & KLINE, K. D., 1999: The IGBP-DIS Global 1-km Land-Cover Data Set DISCover: A Project Overview. – *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 65, 1013–1020.
- BÜTTNER, G., BIRO, M., MAUCHA, G. & PETRIK, O., 2000: Land Cover mapping at scale 1 : 50 000 in Hungary: Lessons learnt from the European Corine programme. – FÖMI Remote Sensing Centre, Budapest.
- Bundesamt für Naturschutz, 1995: Systematik der Standard Biotoptypen und Nutzungstypen für die CIR-Luftbild gestützte Biotoptypen- und Nutzungstypenkartierung für die Bundesrepublik Deutschland (Kartieranleitung). – Arbeitsgemeinschaft Naturschutz der Landesämter, Landesanstalten und Landesumweltämter, Arbeitsgruppe CIR-Bildflug, Bonn-Bad Godesberg.
- Bundesamt für Statistik, 1992: Die Bodennutzung der Schweiz – Arealstatistik 1979/85, Kategorienkatalog, Bern.
- Bundesamt für Statistik, 1996: Arealstatistik Schweiz – Die Bodennutzung in den Kantonen Fribourg, Neuchâtel, Jura. – Gemeindeergebnisse 1979/85 und 1992/1997, Bern.
- Bundesamt für Statistik Schweiz, 2001: Neuchâtel, http://www.statistik.admin.ch/stat_ch/ber02/asch/dframe1.htm
- Bundesamt für Statistik, 1999: Servicestelle GEOSTAT, GEOSTAT Benutzerhandbuch, Ausgabe 02/1999. <http://www.statistik.admin.ch/dienstle/electron/dgeostat01.htm> (Link: HBD9902.pdf).
- Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, 2000: Umwelt und Wasserwirtschaft, Realraumanalyse Österreich (Austria: Land Use and Living Space), <http://taten.municipia.at/alle/f0001061.htm1>.
- Centre for Ecology and Hydrology, 2001: Land Cover Map of Great Britain. http://www.ceh.ac.uk/products_services/data/lcm.html
- Datenbank „MELISE“ Version 1.1, Luxemburg.
- Departement of the Environment, Transport and the Regions: Land Use Change in England No. 14, CESD-Communautaire, <http://www.planning.dtlr.gov.uk/luc14/index.htm>
- Digital Geographic Information Working Group, 2000: The Digital Geographic Information Exchange Standard (DIGEST), Part 4: Feature and Attribute Coding Catalogue (FACC), Version 2.1. <http://www.digest.org>
- DI GREGORIO, A. & JANSEN, L. J. M., 1997: A new concept for a Land Cover Classification System. Earth observation and evolution classification, 1997. – Tagungsband. 13.–16. Oktober 1997, Alexandria, Ägypten, 10 S.
- DI GREGORIO, A. & JANSEN, L. J. M., 2000: Land Cover Classification System LCCS: Classification Concepts and User Manual. – FAO Environment and Natural Resources Service, FAO Land and Water Development Division, FAO, Rom.
- Eco, U., 1987: Zeichen. – Edition Suhrkamp.
- EEA Phare Topic Link on Land Cover (PTL/LC), 1999: Final report, Lead organization: GISAT. – Czech Republic, PTL Leader Jan Kolar, 30. 07. 1999, Prag, <http://ptl.gisat.cz/archive.shtml>
- EEA Phare Topic Link on Land Cover (PTL/LC), 1998: Technical report: Final version of the 4th level CORINE land cover classes at the scale 1 : 50 000. – Lead organization: GISAT, Czech Republic, PTL Leader Jan Kolar, 11/1998, Prag, <http://ptl.gisat.cz/archive.shtml>
- European Environment Agency, 1997: Technical and Methodological Guide for Updating CORINE Land Cover Data Base. – Brüssel, Luxemburg.
- European Environment Agency, 1997–1999: CORINE Land Cover: Technical Guide.
- European Environment Agency, 2000: Technical report No. 40: CORINE land cover technical

- guide – Addendum 2000, Prepared by Bossard, M., Feranec J. & Otahel, J., May 2000, Copenhagen, 2000, <http://www.eea.eu.int>
- European Environment Agency, 2000: Topic report No. 4/2000: Land Cover. – Annual topic update 1999, Prepared by Martin Krynitz, May 2000, Copenhagen.
- Eurostat-Cesd-Communaute, Remote Sensing and Statistical Programme – Statistical framework Land Use, 1. Main principles, 2. Land Use nomenclature, Luxemburg.
- Eurostat, 2001: Handbuch zu den Konzepten der Informationssysteme für Bodenbedeckung und -nutzung, Luxemburg.
- Eurostat, 2001: LUCAS – Eurostat Land Use/Cover Area frame statistical Survey, Technical Documentation (Version 1.1), Technical Documents No. 1 bis No. 4, especially Technical Document No. 2 „The nomenclature“, Luxemburg.
- GAY, CH. & PORCHIER, J.-C., 1998: Land Cover and Land Use Classification Using TER-UTI, Agricultural Statistics 2000, An International Conference on Agricultural Statistics – Proceedings, 18.–20. March 1998, Washington.
- HÄRMÄ, P., SUCKSDORFF, Y. & TEINIRANTA, R., 2000: Land cover mapping using earth observation data, Finish Environment Institute, <http://www.vyh.fi/eng/kairec/abstracts.htm>
Homepage: Countryside Survey 2000: <http://www.cs2000.org.uk>, 2001
- IFEN, Utilisation du Sol <http://www.ifen.fr/cascade/fiche.htm?fic=7024>
- LAMBIN, E. F. & GEIST, H. J., 2001: Global land-use and land-cover change: What have we learned so far? – IGBP Newsletter IFEN, Utilisation du Sol, No. 46, pp. 27–30.
- LANES 1998: Development of a harmonised framework for multi-purpose land cover/land use information system derived from earth observation data, Final report. – CESD-Communaute, Luxemburg, 1998.
- MIKKOLA, A., 1998: Developing Land Use and Land Cover Information Systems in Finland – The SLICES-Project.
- National Land Survey of Finland, 2001: SLICES-Homepage www.slices.nls.fi
- Nordic Council of Ministers, 2001: Strategic landscape monitoring for the Nordic countries. – Geoff Groom, Tim Reed (Hrsg.), Copenhagen. NordLaM-Homepage
<http://nordlam.dmu.dk>, Links: What is NordLaM?, NordLaM Themes, Copenhagen, 2001.
- SEEGER, M., 1995: Realraumanalyse Österreich – Ziele und konzeptueller Rahmen des Projektes „Fernerkundung und Landschaftsverbrauch“. In: Mitteilungen der Österreichischen Geographischen Gesellschaft, 137: 329–348, <http://www.uni-klu.ac.at/groups/geo/projekte/realraum/Beschrei.htm>
- SOKAL, R., 1974: Classification: purposes, principles, progress. – Prospects in Science, Jg. 185, Nr. 4197: 111–123.
- Statistics Finland, Land Use classification. – Handbooks 40, www.stat.fi
- Statistisches Bundesamt, Corine Land Cover. – Datenerhebungsanleitung (Stand 01.01.1994), Wiesbaden.
- Statistisches Bundesamt, 1998: Fachserie 3: Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Reihe 5.1 „Bodenfläche nach Art der tatsächlichen Nutzung 1997“. – Wiesbaden.
- SUCKSDORFF, Y. & TEINIRANTA, R., 2001: Land Cover and Land Use Mapping in Finland, in Strategic landscape monitoring for the Nordic countries. – Nordic Council of Ministers, Copenhagen.
- U.S. Geological Survey, 1998: Land Use/Land Cover (LULC) Data for U.S. Geological Survey (USGS), Middle Rio Grande Basin (MRGB) Study, LULC Data Collection, Concepts and Guidelines, National Mapping Division (NMD), Rocky Mountain Mapping Center (RMMC), http://rockyweb.cr.usgs.gov/public/mrgb/lulc_over.html
- U.S. Geological Survey, 1999: High Resolution Land Use and Land Cover Mapping. – USGS Fact Sheet 189–99, 11/1999, <http://mac.usgs.gov/mac/isb/pubs/factsheets/fs18999pdf>
- WYATT, B., 1997: Guidelines for Land Use and Land Cover description and classification. – Institute of Terrestrial Ecology – Report to FAO.

Anschrift der Verfasser:

Dr.-Ing. GOTTHARD MEINEL, Dipl.-Vw. JÖRG HENNERSDORF, Institut für ökologische Raumentwicklung e.V., Dresden, Weberplatz 1, D-01217 Dresden, e-mail: G.Meinel@ioer.de

Manuskript eingereicht: Mai 2002

Angenommen: Mai 2002

Digitale Oberflächenmodelle von Bremsbelägen – Makrophotogrammetrie mit Videokameras

JOHN MORÉ & STEFAN TREPTE, Berlin

Zusammenfassung: Die Erfassung der Oberflächentopographie von Werkstoffen und deren Veränderungen stellt besondere messtechnische Anforderungen. Einerseits ist es erforderlich, größere Flächen zur Übersicht sowie ausgewählte Details mit höherer Auflösung aufzunehmen. Andererseits muss es möglich sein, Aufnahmen in verschiedenen Skalen und zu verschiedenen Zuständen geometrisch aufeinander zu beziehen, um z. B. Oberflächenveränderungen erfassen zu können. Für solche Aufgaben wurde ein experimentelles Aufnahme- und Auswertesystem entwickelt, das mit zwei Videokameras und verschiedenen Objektiven arbeitet. Als Untersuchungsobjekt dienen Bremsbeläge, die auf einem Prüfstand technischen Reibversuchen unterzogen wurden. Der Aufbau und die Kalibrierung des Systems sowie die Auswertung werden erläutert. Es können digitale Oberflächenmodelle (DOM) gewonnen werden, in die lokale Daten höherer Auflösung eingebunden sind. Dies ermöglicht eine gezielte Erfassung von interessanten Bereichen, ohne die gesamte Probe in der höchstmöglichen Rasterweite aufnehmen und auswerten zu müssen. Die Erweiterung des Verfahrens, z. B. auf Daten aus dem Rasterelektronenmikroskop (REM), ist möglich. Durch die verschiedenen Darstellungsmöglichkeiten des DOM sowie dessen Überlagerung mit thematischen Daten können wertvolle Interpretationshilfen für die Materialforschung entwickelt werden.

Summary: *Digital Surface Models of Breaklinings – Makrophotogrammetry Using Video Cameras.* To determine the surface topology of materials and their change needs special requirements. It is necessary to record large areas for overview as well as selected details with high resolution. On the other hand the requirement exists to relate recordings in different scales and different conditions geometrically for example in order to understand surface changes. For these kind of tasks we developed an experimental recording- and evaluation system, that works with two videocameras and different objectives. As object for our examination we chose brakelinings, which were subjected to technical friction trials on an examination stand. The experimental design and the calibration of the system as well as the evaluation are explained here. Digital surface models (DOM) can be obtained, in which local data of higher resolution can be integrated. This allows an aimed recording of interesting areas, without the requirement to record and evaluate the whole sample with highest possible resolution. The expansion of the procedure for example for scanning electron microscope data is possible. From the different depiction options of the DOM as well as its overlay with topical data, valuable interpretation aids can be developed for material scientists.

1 Einleitung

In den Materialwissenschaften und in der Industrie besteht oftmals der Bedarf nach Erfassung und Interpretation der Topographie bzw. der Veränderung der Topographie eines Werkstoffes. Hierzu sind spezielle Aufnahme- und Auswertesysteme erforderlich,

die an die jeweiligen Gegebenheiten angepasst werden können (BÖSEMANN et al. 2000). Im Zuge des Sonderforschungsbereichs 605 (Elementarereignisse) an der TU Berlin wurde im Fachgebiet Photogrammetrie und Kartographie ein experimentelles Videoaufnahmesystem entwickelt, um Bremsbelagproben in der Größe von 40 mm × 40 mm in zwei verschiedenen Ver-

größerungen stereophotogrammetrisch zu erfassen und einem gemeinsamen Bezugskoordinatensystem zuzuordnen.

2 Gerätetechnik zur Bilderstellung

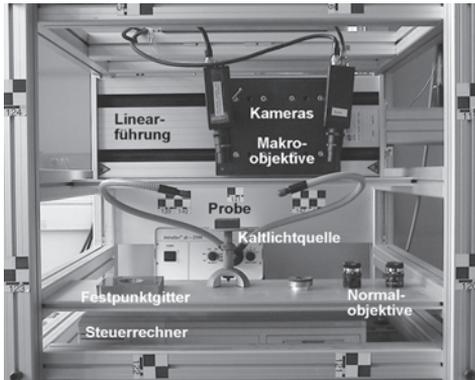


Abb. 1: Laborsystem zur stereophotogrammetrischen Aufnahme mit zwei Videokameras.

Das Aufnahmesystem (SUTHAU 2001) besteht aus folgenden Komponenten (Abb. 1):

- CCD-Videokameras mit Normal- oder Makroobjektiven
- Linearführung mit Steuerrechner zur Einstellung der Basis
- Befestigungsrahmen
- Windows PC zum Auslesen der Bilder
- Kaltlichtquelle
- Kalibrierobjekt
- Probenhalter mit Passpunktgitter

2.1 CCD-Videokameras, Objektive

Die verwendeten Kameras sind CCIR Standard-Monochrom-Kameras vom Typ Sony XC-77CE. Diese liefern Graustufenbilder in der Auflösung 756×581 Pixel, die

mit einem Framegrabber des Windows PCs analog ausgelesen werden.

Das Normalobjektiv hat Vorrichtungen zur manuellen Fokussierung und Einstellung der Blende, während das Makroobjektiv keinerlei Einstellmöglichkeiten bietet. Letzteres ist daher nur in einem fest definierten Abstand und mit einer geeigneten Beleuchtung des Objektraums verwendbar (Technische Daten in Tab. 1).

2.2 Kalibrierung der Kameras/Objektive

Die Kalibrierung erfolgte mit dem für diese Zwecke entwickeltem Programm VerTech mittels Bündelblockausgleichung mit zusätzlichen Parametern (Ergebnisse in Tab. 2) (Verzeichnungsmodelle nach LUHMANN 2000).

2.2.1 Makroobjektive

Der Schärfentiefebereich der Objektive beträgt nur ca. 1,2 mm. Eine Kalibrierung mittels Bündelblockausgleichung ist daher recht schwierig, da die geometrischen Schnittbedingungen sehr ungünstig sind. Ein weiteres Problem ist es, ein geeignetes räumliches Kalibrierobjekt zu konstruieren. Deshalb wurden die Kameras fest auf dem Befestigungsrahmen montiert, eine Glasgitterplatte mit der Linearführung im Schärfentiefebereich bewegt und somit ein räumliches Kalibrierobjekt simuliert (Abb. 2). Durch abwechselndes Festhalten der inneren bzw. der äußeren Orientierung konnte nach mehreren Iterationsschritten eine eindeutige Konvergenz der Bündelblockausgleichung erzielt werden.

Tab. 1: Technische Daten (Herstellerangaben).

	Normalobjektiv	Makroobjektiv
Hersteller, Typ	Cosmicar/Pentax, C1614A-TH	Rodenstock, $\times 0.5$
Brennweite	16 mm	35 mm
Horizontaler Bildwinkel	$30^\circ 40'$ (für 2/3" Array)	k. A.
Fokussierungsbereich	0,3 m – ∞	k. A.
Blendenzahl	1,4–16	k. A.
Bildmaßstab	k. A.	1 : 2

Tab. 2: Ergebnisse der Kamerakalibrierung.

	Normalobjektiv (Beispiel)	Makroobjektiv (Beispiel)
Kamerakonstante	16,247 mm	58,988 mm
Bildhauptpunkt in x	- 0,052 mm	0,296 mm
Bildhauptpunkt in y	0,352 mm	0,024 mm
Radiale Verzeichnung	ca. 0,13 %	< 0,1 %
Tangentiale Verzeichnung	< 0,1 %	< 0,1 %
Affinität	< 0,1 %	< 0,1 %
Scherung	< 0,1 %	< 0,1 %



Abb. 2: Zwei in verschiedenen Entfernungen gewonnene Bilder der Kalibrierung.

Der Wert der berechneten Kamerakonstanten weicht erheblich von dem Wert der Brennweite aus der Herstellerangabe ab. Das liegt an der Position der CCD-Chips, die ca. 25 mm tief in den Kameras liegen und die Bildweite um diesen Wert vergrößern. Es gibt bei diesen Objektiven nur einen Schärfentiefebereich, der ca. 12 cm vor den Kameras liegt und ein Objektfeld von ca. 16 mm × 12 mm aufnehmen kann.

2.2.2 Normalobjektive

Für die Normalobjektive wurde ein räumliches Kalibrierobjekt (Abb. 3) konstruiert, dessen Koordinaten geodätisch eingemessen und mittels Netzausgleichung berechnet wurden. Die Kalibrierung mittels Bündelblockausgleichung ist hier problemlos möglich. Die an diesen Objektiven befindlichen Einstellmöglichkeiten zur Fokussierung und Blendeneinstellung erfordern allerdings bei jeder Aufnahmeserie eine separate Kalibrierung.

2.2.3 Bildfehler und Genauigkeiten

Die Beträge für radiale und tangentiale Verzeichnung sowie die der Scherung und der affinen Verzerrung sind vernachlässigbar klein.

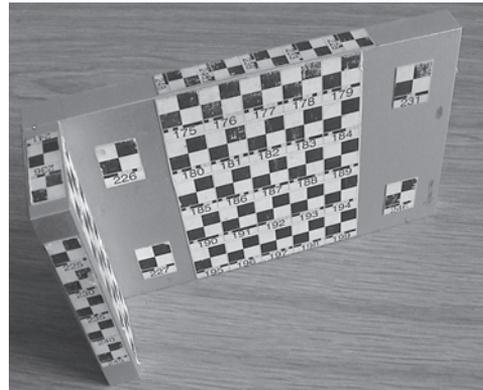


Abb. 3: Räumliches Kalibrierobjekt.

Die Auflösung der Kameras ist im Gegensatz zu aktuellen digitalen Kameras gering. Ein Pixel auf dem CCD-Chip ist 11 µm groß. Sowohl manuelle Messungen als auch Ergebnisse einer automatischen Punktzuordnung (Matching) erlauben die Messung im Subpixelbereich, so dass pauschal ein Messfehler von einem halben Pixel, also 5,5 µm angenommen werden kann.

Bei einem Bildmaßstab von 1 : 16 (Normalobjektive) entspricht ein halbes Pixel 88 µm im Objektraum. Das Basisverhältnis der Konvergentaufnahmen von 1 : 6 ließe sich noch verbessern, allerdings wird dann das „Matching“ durch die perspektivische Verzerrung des Objektes in den Bildern immer schwieriger. Bei den Makroobjektiven entspricht ein halbes Pixel à 5,5 µm bei 1 : 2 Bildmaßstab im Objektraum 11 µm in der Lage. Hier liegt das Problem im Schärfentiefebereich, so dass Konvergentaufnahmen nur sehr begrenzt möglich sind. Die maximale Basis beträgt ca. 25 mm, da sonst Teile der Bilder unscharf werden. Weitere Fehler finden sich in der Ansteuerung der Linear-

Tab. 3: Genauigkeiten.

Objektiv	Bildmaßstab	Kamera-konstante c [mm]	Basis b [mm]	Abstand z [mm]	b/z	Lagegenauigkeit m_{yx} [mm]	Höhen-genauigkeit m_z [mm]
Normal	~ 1 : 16	16,247	40	245	1 : 6	0,088	~ 0,5
Makro	1 : 2	58,988	25	118	1 : 5	0,011	~ 0,05

führung bei der Übertragung der Orientierung in die Aufnahmekonfiguration (siehe Abschn. 4.2 und Tab. 3).

3 Behandlung der Bremsbeläge

3.1 Prüfeinrichtung

Die Versuche erfolgten auf einem Teilbelag-Schwungmassenprüfstand (TREPTE 2000) an der TU Berlin am Institut für Maschinenkonstruktionen. Ein Gleichstrommotor treibt über eine elektromagnetische Zahnkupplung die Antriebswelle mit der Schwungmasse an. Ein großer Teil der kinetischen Energie von Antriebswelle und Schwungmasse wird beim Bremsvorgang über die Reibpaarung in Reibungsenergie und damit überwiegend in Wärme umgewandelt. Die Normalkraft erzeugt ein Pneu-

matikzylinder. Drehzahl und Normalkraft sind stufenlos einstellbar. Die Reibpaarung besteht aus der Bremscheibe und dem 40 mm × 40 mm × 15 mm großen Bremsbelag (Abb. 4).

Die geschliffene Bremscheibe aus Grauguss hat die Maße:

- Innendurchmesser 190 mm
- Außendurchmesser 310 mm
- Dicke 10 mm
- mittlerer Reibungsradius 125 mm.

Kräfte, Momente, Temperaturen und Drehzahlen am Teilbelag-Schwungmassenprüfstand werden mit verschiedenen Aufnehmern elektrisch gemessen. Diese nichtelektrischen Messgrößen wandeln die Aufnehmer in proportionale Spannungen oder Ströme um.

Unter der Reibpaarung befindet sich ein optischer Partikelzähler zur laseroptischen Online-Messung der Verschleißpartikel. Der Partikelzähler saugt die Verschleißpartikel 22 mm unterhalb der Reibpaarung über ein am Bremshebel befestigtes Kupferrohr ab. Die Ansaugstrecke ist senkrecht. Das Messprinzip basiert auf der 1908 vom deutschen Physiker GUSTAV MIE formulierten Streulicht-Theorie für kugelförmige Partikel (MIE 1908, GEBHARDT 1989). Die einzeln durch die Messzelle strömenden Partikel beleuchtet ein He-Ne-Laser. Das dabei entstehende Streulicht erfasst ein Photodetektor. Der Messbereich beträgt 0,2–5,0 μm . Ein am Partikelzähler angeschlossenes Notebook zeigt Durchmesser, Anzahl und Verteilung der Verschleißpartikel online während der Messung an.

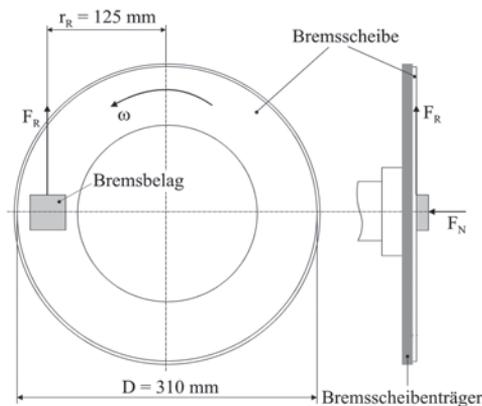


Abb. 4 Reibpaarung des Teilbelag-Schwungmassenprüfstandes.

- r_R mittlerer Reibungsradius
- F_N Normalkraft
- ω Winkelgeschwindigkeit
- F_R Reibungskraft
- D Bremsscheibendurchmesser

3.2 Versuchsdurchführung

Der untersuchte organisch gebundene Reibwerkstoff B1 ist ein Scheibenbremsbelag für

Schienenfahrzeuge. Hersteller ist die Honeywell Bremsbelag GmbH. Beläge dieser Sorte werden u. a. im ICE für Fahrgeschwindigkeiten bis 280 km h^{-1} verwendet.

Mit der in der Abb. 5 (rechts) sowie in den Abb. 8 und 9 gezeigten Probe wurden 500 Stoppbremsungen (100 Stoppbremsungen je Versuchsreihe) mit einer Flächenpressung $p = 0,1 \text{ MPa}$ und einer Reibungsgeschwindigkeit $v_{R1} = 9,2 \text{ m s}^{-1}$ gefahren (erster Versuchstag: 300 Stoppbremsungen, zweiter Versuchstag: 200 Stoppbremsungen).

Nach dem Erreichen der Soll Drehzahl erfolgte das Trennen von Motor und Antriebswelle und das Abbremsen der rotierenden Massen auf die Drehzahl null. Die Dauer einer Bremsung betrug 60 s. In den Pausen nach 100 Stoppbremsungen wurde der Bremsbelag ausgebaut und mit einer Analysenwaage gewogen. Die Einbauposition des Bremsbelages war stets die gleiche. Dies ist besonders im Hinblick auf die nachfolgende Untersuchung der Oberflächentopographie zu beachten. Nur so lassen sich plausible Aussagen zur Veränderung der Bremsbelagoberfläche infolge der Belastung und zur Übertragung von Oberflächenstrukturen der Bremsscheibe auf den Bremsbelag machen. Bei Blickrichtung auf die Belastungsseite der Bremsscheibe drehte die Antriebswelle entgegen dem Uhrzeigersinn (Abb. 4). Die Reibungsgeschwindigkeit v_{R1} ist auf den mittleren Reibungsradius $r_R = 125 \text{ mm}$ bezogen.

4 Aufnahme und Auswertung von Bremsbelagproben

Die Abb. 5 zeigt zwei verwendete Proben. Die runde Probe (links) ist ein für experimentelle Zwecke angefertigter Belag. Eingefräste Gräben verschiedener Breiten und mehrere Bohrungen in verschiedenen Durchmesser und Tiefen halfen den Schärfentiefebereich, Unstetigkeitsstellen und die Güte des „Matching“-Algorithmus zu ermitteln.

Die quadratische Probe (Abb. 5 rechts) wurde den in Abschnitt 3 beschriebenen Reibversuchen unterzogen. Um einen topo-

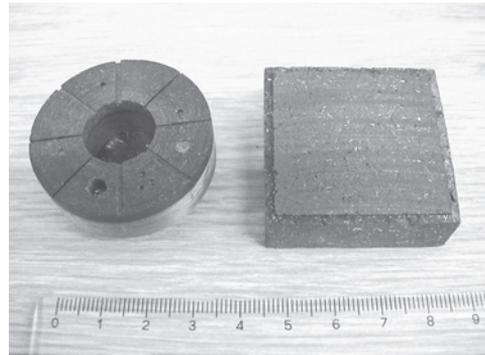


Abb. 5: Bremsbelagproben.

graphischen Vergleich zwischen verschiedenen Reibbelastungen zu ermöglichen, wurde der Rand einer Probe um 1 mm abgefräst, um dort ein Referenzsystem zu schaffen.

4.1 Aufnahme mit der Normaloptik

An beiden Kameras werden die Normalobjektive angebracht. Die Probe wird auf das Kalibrierobjekt gelegt (Abb. 3), Belichtung und Fokussierung eingestellt und Konvergenzaufnahmen gemacht. Die Basis wird mit der Linearführung eingestellt.

4.2 Aufnahme mit der Makrooptik

Beide Kameras werden mit den Makroobjektiven bestückt. Zur Bildorientierung wird erst einmal ein Festpunktgitter (eine auf einem 15 mm starken Block montierte Gitterfolie) in den Schärfentiefebereich der linken Kamera gebracht, wobei auf eine geeignete Beleuchtung zu achten ist. Dann wird ein vorprogrammierter Ablauf der Linearführung ausgeführt.

Anschließend wird das Festpunktgitter gegen die Probe ausgetauscht und ein Ausschnitt der Probe mit der linken Kamera gewählt. Da die Probe und das Gitter gleich dick sind, liegt die Probe automatisch im Schärfentiefebereich. Der Ablauf der Linearführung wird ein weiteres Mal ausgeführt. So ist es möglich, die vorher ermittelte Bildorientierung auf die Bilder des Probenausschnitts zu übertragen (Abb. 6).

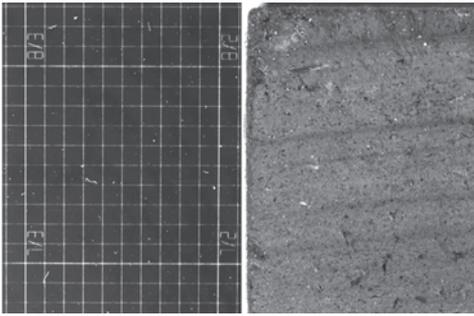


Abb. 6: Mit der Makrooptik gemessene Bilder (links Festpunktgitter, rechts Probe).

4.3 Messung der Fest- und Verknüpfungspunkte

Die Messung der Passpunkte des räumlichen Kalibrierobjekts für die Normaloptik erfolgt automatisch. Per Hand werden die Messungen überprüft und gegebenenfalls vervollständigt. Zur Bildorientierung der Bilder der Makrooptik werden die Schnittpunkte der Linien des Festpunktgitters per Hand gemessen. Als Weiteres werden die Eckpunkte der Probe (Normaloptik) und mindestens sechs homologe Punkte in den Bildern der Makrooptik und der Normaloptik per Hand ermittelt.

4.4 Messung von homologen Punkten

Um ein digitales Oberflächenmodell möglichst lückenlos zu erstellen, muss die maximale Anzahl an homologen Punkten auf der Probe gefunden werden. Dies wird mit einer automatischen flächenbasierten Punktzuordnung (Matching) in dem Programm REMmodel (HEMMLEB & ALBERTZ 1998) realisiert. Nach Auswahl eines Bildausschnitts werden mittels einer Produktmomentenkorrelation und anschließender Kleinste-Quadrate-Ausgleichung homologe Punkte gesucht.

4.5 Auswertung der Aufnahmen

Die Kameras sind fest an der Linearführung verschraubt, so dass sich die Drehwinkel nicht verändern. Trotzdem wird, wegen der

besseren Fehlerverteilung, bei jeder Bildorientierung ein räumlicher Rückwärtschnitt gerechnet (WIEDEMANN et al. 2001, KRAUS 1994/96).

4.5.1 Probenfestes Bezugskoordinatensystem

Um nun Messungen verschiedener Aufnahmesysteme und Maßstäbe miteinander verbinden zu können und Ausreißer in den Messungen (Fehlmatchings) zu finden, wird ein Bezugskoordinatensystem der Probe geschaffen. Da die Oberfläche der Probe quadratisch und grob als Ebene definierbar ist, werden die Eckpunkte der Probe als Punkte der XY-Ebene eingeführt. Die Z-Achse steht senkrecht darauf, und der Ursprung befindet sich im linken unteren Eckpunkt. Diese Punkte werden mittels Bündelblockausgleichung im Koordinatensystem des Kalibrierobjektes berechnet. Die Kantenlängen der Probe betragen je 40 mm und es kann mit hinreichender Genauigkeit angenommen werden, dass benachbarte Kanten orthogonal zueinander sind. Somit wird das Bezugskoordinatensystem über drei Eckpunkte erstellt. Der vierte Eckpunkt wird nur zur Verprobung herangezogen. Die Parameter der räumlichen Ähnlichkeitstransformation werden über die identischen Eckpunkte beider Koordinatensysteme ermittelt. Mit Hilfe der Restklaffungen kann entschieden werden, ob die Messungen in den Bildern ausreichend genau zur Definition des Probenkoordinatensystems sind.

4.5.2 Auswertung der Bilder der Normaloptik

Die Messgenauigkeit des Aufnahmesystems in der Höhe liegt bei ca. 0,5 mm, und die Oberflächenbewegung kann auf maximal 0,1 mm geschätzt werden. Da die Oberfläche der Probe nahezu in der XY-Ebene oder parallel dazu liegt, lassen sich Ausreißer in der Höhe gut finden.

Trotz der geringen Genauigkeit eines DOMs mit dieser Optik, können gröbere Strukturen und die Probe im Ganzen dargestellt werden. Dies gilt als großflächige

Referenz zur Positionierung genauerer DOM von Teilbereichen.

4.5.3 Auswertung der Bilder der Makrooptik

Im Gegensatz zur Auswertung mit der Normaloptik, ist bei der Makrooptik der Prozess der Orientierung und die Erstellung der Punktwolke getrennt (siehe Abschn. 4.2). Da die innere Orientierung bei jeder Aufnahme gleich bleibt, wird die in Abschn. 3.1 ermittelte Kalibrierung verwendet. Die äußere Orientierung erfolgt mit den Aufnahmen des Festpunktgitters durch einen räumlichen Rückwärtsschnitt. Die Ausgleichung zeigt eine gute Konvergenz und hinreichend genaue Werte der äußeren Orientierung.

Als Nächstes werden die Aufnahmen der Probe ausgewertet. Per Hand werden Verknüpfungspunkte in beiden Bildern und in denen der Normaloptik gemessen. Auch hier wird mit REMmodel eine flächenbasierte Punktzuordnung ausgeführt und die Punktwolke erzeugt.

Die Messgenauigkeit der Makrooptik in der Höhe liegt bei ca. 0,05 mm, die maximale Oberflächenbewegung wird auf ca. 0,1 mm geschätzt. Da die Oberfläche des Festpunktgitters bei der Aufnahme nahezu parallel der Ebene der Probenoberfläche verläuft, sind auch hier Ausreißer in der Höhe einfach zu finden und zu eliminieren.

Das in der Punktwolke beschriebene Oberflächenmodell kann hier nur einen kleinen Teil der Probe ohne Bezug zur absoluten Lage wiedergeben. Im Gegensatz zur Normaloptik kann hier schon eine Erfassung der Oberflächentopographie erfolgen und relevante geometrische Aussagen in dem Genauigkeitsbereich zulassen.

5 Geometrische Zuordnung von Oberflächenmodellen

Es gilt nun, alle DOM miteinander geometrisch zu verbinden, um ein Gesamtbild der Probe mit Verfeinerungen in den detaillierter erfassten Bereichen zu erhalten. Hierbei besteht das Problem, Oberflächenmodelle

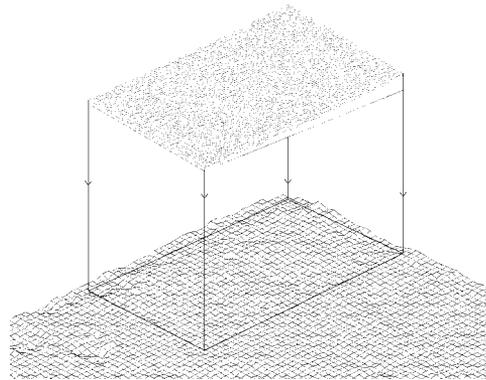


Abb. 7: Schematische Darstellung der geometrischen Zuordnung zweier DOM.

mit verschiedenen Rasterweiten und Genauigkeiten einander zuzuordnen (Abb. 7). Ein automatisches Verfahren, beispielsweise eine „raumbasierte“ Punktzuordnung, wäre wünschenswert, doch dies ginge nur bei signifikant ähnlichen Höhenwerten. Eine Zuordnung der DOM der Makrooptik mit dem der Normaloptik ist aufgrund der sehr unterschiedlichen Genauigkeiten nicht möglich. Wegen der schlechten Aussicht auf Erfolg wurde dieser Ansatz zunächst verworfen.

5.1 Zuordnung durch räumliche Ähnlichkeitstransformation

Um die Zuordnung der DOM zu ermöglichen, werden in den Bildern der Normal- und der Makrooptik homologe Punkte für eine 2D-Helmertstransformation gemessen. Die Punktwolke aus den Makroaufnahmen wird somit in der Lage an die richtige Stelle im Bezugskoordinatensystem gebracht. In der Höhe wird diese auf die Probenoberfläche angepasst, indem der in der Lage deckungsgleiche Inhalt der ungenaueren Punktwolke ausgeschnitten und ein beliebiges Raster über beide Punktwolken gelegt wird. Anhand der Rasterpunkte in beiden Punktwolken können auf Grund der hohen Punktdichte identische Punkte in der Lage gefunden werden. Da die Verdrehung beider Punktwolken gegeneinander sehr gering ist, kann mit diesen pseudo-identischen Punk-

ten eine räumliche Ähnlichkeitstransformation durchgeführt und die transformierte Punktwolke in das Probenkoordinatensystem eingefügt werden.

Mit dieser Methodik können auch REM-Aufnahmen und deren DOM als weitere Verfeinerung eingefügt werden. Als Ziel soll ein DOM mit beliebig vielen Verfeinerungen entstehen, um dies als geometrische Grundlage eines „Probeninformationssystem“ bereitzustellen.

5.2 Darstellungen

Zur besseren Veranschaulichung können zur Darstellung von DOM auch noch die Bilder als Textur überlagert werden (Abb. 8). Sowohl Orthobilder (Abb. 9) als auch virtuelle „Überfliegungen“ über das Modell der Probe geben eine noch bessere Übersicht.

In Abb. 9 ist gut zu erkennen, dass die Laufspuren der Bremsscheibe über die jeweiligen Bereiche nahezu ohne Versatz verlaufen. Obwohl die Bereiche der Bilder der Makrooptik größer als der Bereich des zugehörigen DOM sind, lassen sich diese gut auf das Gesamt-DOM entzerren.

6 Auswertung und Ausblick

Mit diesem experimentellen Videoaufnahmesystem lassen sich trotz relativ geringer Genauigkeiten eindrucksvolle und nützliche Ergebnisse erzielen. Mit der Normaloptik kann ein Bezugssystem geschaffen und mit der Makrooptik können detaillierte Oberflächenstrukturen erfasst werden. Die Zuordnung der DOM gelang in einer hinrei-

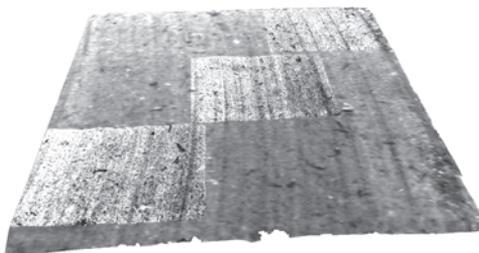


Abb. 8: DOM mit überlagerter Textur.

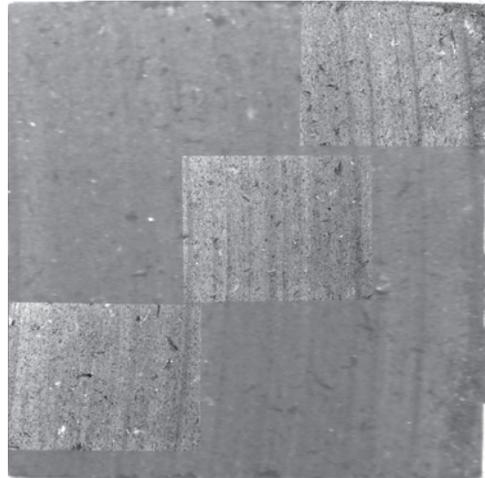


Abb. 9: Orthobild der aufeinander bezogenen Bilddaten verschiedener Auflösung.

chenden Genauigkeit trotz der geringen Bildauflösung der Kameras.

Die Auswertung erfolgte ausschließlich mit selbst geschriebenen Programmen. Bei der digitalen Bildverarbeitung und der Darstellung der Oberflächenmodelle wurden kommerzielle Programme verwendet.

Zur Weiterentwicklung des Verfahrens sind höher auflösende Kameras nötig. Ein weiteres Problem ist noch der recht aufwendige Auswertevorgang. Hier ist eine Optimierung der hintereinander geschalteten Vorgänge sowie eine weitgehende Automatisierung in Arbeit. Die Einbindung von REM-Aufnahmen wurde bisher nur theoretisch behandelt und bedarf einer Realisierung.

Die Vorteile der digitalen Oberflächenmodelle für die Erforschung und Bewertung von Reibwerkstoffen sind:

- räumliches Darstellen der beanspruchten Oberfläche,
- virtuelles „Überfliegen“ der Oberfläche,
- Bestimmen der realen Kontaktfläche und
- Sichtbarmachen der Wirkung von Gegenwerkstoff, Normalkraft, Reibungsgeschwindigkeit und Reibungsarbeit auf die sich ausbildenden Oberflächenstrukturen.

In den Abb. 8 und 9 ist deutlich die Übertragung der Rillenstruktur der Bremsschei-

be auf den Bremsbelag zu erkennen. Das Glätten der Bremsbelagoberfläche erfolgt bei der untersuchten Probe vorwiegend durch Abschleifen infolge des langen Bremsweges bei niedriger Flächenpressung. Mit Drahtgittermodellen der Oberfläche ist dieser Effekt durch einen Vergleich vor und nach der Belastung besonders gut zu erkennen.

Die Energiewandlung bei der Reibung ist immer mit Stoffdeformation verbunden (FLEISCHER et al. 1989). Digitale Oberflächenmodelle können bei der Darstellung und Beschreibung dieser Deformationen einen wichtigen Beitrag leisten.

7 Danksagung

Unser Dank gilt der DFG für die Förderung des SFB 605, Prof. Dr.-Ing. JÖRG ALBERTZ und Dipl.-Ing. ALBERT WIEDEMANN für wissenschaftliche Hilfestellungen und Prof. Dr.-Ing. DIETRICH SEVERIN für die gute Zusammenarbeit im SFB 605.

8 Literatur

- BÖSEMANN, W. et al., 2000: Photogrammetric Measurement Techniques for Quality Control in Sheet Metal Forming. – IAPRS, B5: 291–298.
- Fleischer, G. et al., 1980: Verschleiß und Zuverlässigkeit. – VEB Verlag Technik, Berlin.
- GEBHART, J., 1989: Funktionsweise und Eigenschaften optischer Partikelzähler. – Technisches Messen **56** (5): 192–203.
- HEMMLER, M. & ALBERTZ, J., 1998: Photogrammetrische Auswertung elektronenmikroskopischer Bilder – Grundlagen und praktische Anwendungen. – PFG 1/98.
- KRAUS, K., 1994: Photogrammetrie, Band 1. – 5. Aufl., Dümmler Verlag, Bonn.
- KRAUS, K., 1996: Photogrammetrie, Band 2. – 3. Aufl., Dümmler Verlag, Bonn.
- LUHMANN, T., 2000: Nahbereichsphotogrammetrie. – Wichmann Verlag, Heidelberg.
- MIE, G., 1908: Beiträge zur Optik trüber Medien, speziell kolloidaler Metallösungen. – Annalen der Physik, Vierte Folge, **25**: 377–445.
- SUTHAU, T. et al., 2001: Close Range Photogrammetry with CCD Cameras and Matching Methods – Applied to the Fracture Surface of an Iron Bolt. – In: ALTAN, O. & GRÜNDIG, L. (eds.): Fourth Turkish-German Joint Geodetic Days at Berlin, Germany, April 2–6 – Vol. I: 203–209.
- TREPTE, S. & GRIESEL, J., 2000: Neu entwickelter Bremsenprüfstand. – RIQ Rexroth Information Quarterly, Nr. 4, 18–19.
- WIEDEMANN, A. et al., 2001: Comparison of Bundle Block Adjustments for Close Range Applications. – In: ALTAN, O. & GRÜNDIG, L. (eds.): Fourth Turkish-German Joint Geodetic Days at Berlin, Germany, April 2–6, Vol. I: 211–218.

Anschrift der Verfasser:

Dipl.-Ing. JOHN MORÉ, TU Berlin, Photogrammetrie und Kartographie, EB 9, Straße des 17. Juni 135, D-10623 Berlin, Tel.: 030/314–23991, e-mail: john@fpk.tu-berlin.de

Dipl.-Ing. STEFAN TREPTE, Dorfstr. 14, D-06388 Piethen, Tel.: 034976/32604, e-mail: Stefan.Trepte@gmx.de

Manuskript eingereicht: April 2002
Angenommen: Mai 2002

Berichte

CIPA 2001 International Symposium „Surveying and Documentation of Historic Buildings, Monuments, Sites – Traditional and Modern Methods“

Potsdam, 18.–21. September 2001

Das 18. Symposium des Internationalen Komitees für Architekturphotogrammetrie (CIPA) fand – besucht von 241 Teilnehmern aus 31 Ländern (davon 108 aus Deutschland) – in Potsdam statt, einem attraktiven und dem Tagungsthema angemessenen Platz. Potsdams Schlösser und Gärten sind Teil des UNESCO-Weltkulturerbes und in der Nähe liegt Berlin, nicht nur Hauptstadt, sondern auch der Ort, an dem ALBRECHT MEYDENBAUER 1885 die „Königlich Preußische Messbildanstalt“ als weltweit erste photogrammetrische Institution gründete. Seinem Leben und Wirken war ein Vortrag der Veranstaltung gewidmet. Das Symposium wurde hervorragend organisiert von Prof. JÖRG ALBERTZ und seinen Mitarbeitern. Neben dem wissenschaftlichen Programm gab es eine Firmenausstellung und es fanden Empfänge, ein Konzert und eine Vielzahl von technischen Exkursionen statt.

ICOMOS (International Council on Monuments and Sites, innerhalb der UNESCO) und ISPRS als Träger des CIPA waren durch ihre Präsidenten Prof. MICHAEL PETZET und Prof. JOHN C. TRINDER hochrangig vertreten. CIPA, gegründet 1968/70, um die Anwendung der Stereophotogrammetrie im Bereich Architektur und Denkmalpflege zu fördern, steht heute für weit mehr, es umfasst – mit den Worten des CIPA-Präsidenten Prof. PETER WALDHÄUSL – „das Dokumentieren in GIS, Photogrammetrie und Vermessung, andere Messmethoden wie Laserabtastung, geophysikalische und aerophotogrammetrische Prospektion und Überwachung und entwickelte sich so selbst zum kompetenten und auf der ganzen Welt erreichbaren Partner für Datentechnologie auf dem Gebiet der Kulturgutpflege“ (WALDHÄUSL 2001). Dies

lässt auch der neue Name des CIPA erkennen, der das heutige, umfangreiche Arbeitsfeld beschreibt: *CIPA-The ICOMOS/ISPRS Committee for Documentation of Cultural Heritage*.

Unter diesen Auspizien und mit diesem Anspruch zeigte das Symposium in 49 Vorträgen und 92 Posterpräsentationen das weite Spektrum von Aufgaben, Konzepten, Verfahren und praktischen Anwendungen bei der Dokumentation von Objekten des Weltkulturerbes. Der Tagungsband mit der schriftlichen Version der Beiträge wird Mitte 2002 erscheinen.

Die technischen Sitzungen waren Methoden, Geräten und Projekten gewidmet und im Wesentlichen von den Working and Task Groups der CIPA getragen – mit Titeln wie

- Simple Methods for Architectural Photogrammetry
- Documentation of Cultural Landscapes and its Changes
- Application of Digital Image Processing in Heritage Recording
- Integration of Metric Surveying Technologies for Cultural Heritage Documentation
- Application of Photogrammetric Techniques in Archaeology
- Information Systems for Cultural Heritage Documentation
- Single Images in Conservation
- New Developments in Image Acquisition Techniques.

Diese Themen (und andere) wurden während der Postersitzungen ergänzt und vertieft. Die Autoren nutzten die Begegnung mit den anderen Teilnehmern, um die Resultate ihrer Arbeiten höchst informativ und anschaulich zu präsentieren, so dass der recht kleine Saal zu den meisten Zeiten angefüllt war mit Betrachtern und diskutierenden Gruppen.

Besonderes Interesse fand das Thema Laserscanning. Einige Geräte waren in der Ausstellung zu sehen, eine spezielle Sitzung

und weitere Beiträge befassten sich damit. Erste Erfahrungen mit dieser, jetzt wohl den Kinderschuhen entwachsenen Messtechnik zur direkten, schnellen und genauen Generierung von 3D Punktwolken wurden mitgeteilt. Betrachtet man Vor- und Nachteile von Photogrammetrie und Laserscanning, so können beide Verfahren wohl nebeneinander existieren, sich aber auch sinnvoll ergänzen, um bestmögliche Resultate zu erzielen. Jedoch ist hier noch einige Forschungsarbeit zu leisten (siehe auch den unten angekündigten Workshop in Korfu).

Die Plenarsitzungen des Potsdamer Symposiums waren nicht nur technischen, sondern auch fachübergreifenden, fachpolitischen Aspekten der CIPA Aktivitäten gewidmet. Zu erwähnen ist insbesondere die Zusammenarbeit zwischen Working Group 1 und dem Getty Conservation Institute (GCI), dokumentiert in der Sitzung „Bridging the Gap Between the Information User and the Information Provider“. Hier ging es um das zentrale Problem, die Kommunikation zwischen Datenhersteller und -nutzer zu verbessern. Um dies zu erreichen, sollen gemeinsame, von CIPA, ICOMOS und GCI organisierte Treffen und Gespräche stattfinden, Richtlinien und Handbücher sind herzustellen und zu publizieren, Trainingskurse sind abzuhalten – eine vielversprechende Initiative.

Ein gelungenes und effektives Symposium, denn es hatte den Effekt, Teilnehmer aus unterschiedlichen Fachgebieten zusammenzubringen, Kenntnisse auszutauschen, sich besser zu verstehen, die Motivation zu erhöhen. Man wird sich wieder treffen, um Fortschritte bei der Dokumentation des kulturellen Welterbes vorzustellen und zu diskutieren, zum Beispiel beim Zwischensymposium der Kommission V der ISPRS in Korfu/Griechenland (2.–6.9.2002) und – unmittelbar zuvor an gleicher Stelle (1.–2.9.2002) – beim Workshop „Scanning for Cultural Heritage Recording – Complementing or Replacing Photogrammetry“, organisiert von der CIPA Working Group 6 zusammen mit ISPRS Kommission V, sowie beim nächsten CIPA-Symposium „New

Perspectives to Save the Cultural Heritage“ in Antalya/Türkei (30.9.–4.10.2003).

Literatur:

WALDHÄUSL, P. et al., 2001: CIPA-I²DOC, Brücke zwischen Informationstechnik und Kulturerbe. – PFG 2001 (4): 237–246 und 247–301.

JÜRGEN PEIPE, Neubiberg

5th Conference on Optical 3-D Measurement Techniques

In Wien, Österreich, fand vom 1. bis 4. Oktober 2001 der internationale Kongress über „Optical 3-D Measurement Techniques“ statt. Unter Leitung von Prof. HERIBERT KAHMEN von der TU Wien und Prof. ARMIN GRÜN von der ETH Zürich wurde der Kongress maßgeblich von der Abteilung Angewandte Geodäsie und Ingenieurgeodäsie des Instituts für Geodäsie und Geophysik der TU Wien unter der Schirmherrschaft der Kommission V der ISPRS, der Special Commission 4 der IAG und den Kommissionen 5 und 6 der FIG organisiert. Diese Veranstaltung war die Fünfte in einer sehr erfolgreichen Reihe von Kongressen, die seit 1989 abwechselnd in Wien und Zürich abgehalten werden. An der Veranstaltung haben 165 Personen aus 26 Ländern aus allen Teilen der Welt teilgenommen. Die stärksten Delegationen stellten dabei Österreich und Deutschland mit jeweils über 30 Teilnehmern, gefolgt von Malaysia mit mehr als 20 Teilnehmern. Das technische Programm an den ersten drei Tagen umfasste insgesamt 15 Sessions, in denen an die 65 Vorträge gehalten wurden, sowie eine Postersession mit 25 Beiträgen am dritten Tag. Am vierten Tag wurde zusätzlich die Möglichkeit geboten, an einem Tutorial über „Laser Scanning“ teilzunehmen, welches vom Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU Wien organisiert und durchgeführt wurde. Im Folgenden wird zusammenfassend über das technische Programm und die wesentlichen Schwerpunkte des Kongresses berichtet.

Nach der Eröffnung des Kongresses durch die beiden Konferenzdirektoren HERIBERT KAHMEN und ARMIN GRÜN sowie Grußworten von MICHEL MAYOUD (FIG Kommission 6), AUGUST HOCHWARTNER (Präsident des österreichischen Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen) und HANS POLLY (Präsident der österreichischen Kammer für Ingenieurkonsulenten) gab RAINER FLESCH in seiner Keynote-Speech „Optical 3-D Measurement Techniques – Important Tools for Earthquake Research“ einen interessanten Überblick über den Einsatz von modernen Verfahren zur großräumigen Überwachung und Analyse von Deformationen im Hinblick auf die Vorhersage von Erdbeben.

Der Intention des Kongresses folgend, setzt das technische Programm mehrere Schwerpunkte im Bereich der geodätischen sowie photogrammetrischen optischen 3D-Messverfahren und will damit die interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen diesen beiden sowie benachbarten Disziplinen fördern. Das anschließende Programm begann mit einer Session, die sich mit einem wesentlichen Schwerpunkt des Kongresses beschäftigte, nämlich „Laser Scanning“. In zwei Sessionen mit dem Titel „Terrestrial Laser Scanning“ wurde die breite Palette von modernen 3D-Lasersystemen für die Erfassung von Daten im Nah- und Fernbereich vorgestellt sowie deren Anwendung in der Architekturvermessung und im Baubereich, z. B. zur Fassaden- und Innenraumvermessung von Gebäuden, Profilmessung, Erzeugung virtueller Gebäude- und Stadtmodelle, Dokumentation von Denkmälern und Statuen, sowie zur topographischen Vermessung, z. B. zur Bestimmung der Schneeüberdeckung im Gebirge, präsentiert. In einer weiteren Session mit dem Titel „Airborne Laser Scanning“ wurde im Wesentlichen die Bestimmung digitaler Geländemodelle mittels Laser Scanner sowie deren Modellierung sowie die Erzeugung von Stadtmodellen mit LIDAR behandelt. In der Session „Object Reconstruction and Visualization“ wurden moderne analytische und digitale photogrammetrische Methoden für die 3D-Aufnahme und Modellie-

rung von Kulturdenkmälern und archäologischen Stätten sowie die Dokumentation von Leitungen und unterirdischen Einbauten mit Georadar vorgestellt und diskutiert. Der Sensorkalibrierung von digitalen photogrammetrischen Kameras für den Nahbereich und Rekonstruktion bzw. Modellierung von Objekten war eine eigene Session mit dem Titel „Sensor and Object Modelling“ gewidmet. Automatische Objekterkennung in Echtzeit und Modellierung in Industrievermessung im Vergleich zu geodätischen Methoden wurden noch in der Session „Vision Metrology“ behandelt.

Ein weiterer Themenbereich war „Mobile Mapping“ und Multisensorsystemen gewidmet. Der Einsatz mobiler Datenerfassungssysteme zur Aufnahme von Verkehrswegen für geographische Informationssysteme und Straßendatenbanken wurde in zwei Sessionen mit dem Titel „Mobile Mapping“ behandelt. Neben der Präsentation von Projekten wurde in den Beiträgen auf die Sensorkalibrierung und die Modellierung der Bewegung der Sensorplattform bzw. die Bestimmung der Trajektorie des Aufnahmefahrzeuges sowie die Georeferenzierung der Aufnahmen von den Datenerfassungssensoren näher eingegangen. In einer weiteren Session mit dem Titel „Multi-Sensor Systems and Machine Guidance“ wurden kinematische Positionierungssysteme in der Navigation, der Steuerung von Baumaschinen und im landwirtschaftlichen Bereich (Precise Farming) vorgestellt und diskutiert.

Aus dem Bereich der Ingenieurgeodäsie wurden in zwei Sessionen mit dem Titel „New Measurement Techniques“ u. a. Untersuchungen über die Zielerfassung und Zielverfolgung mit modernen Tachymetersystemen sowie über den Einsatz von Multisensorsystemen in der Industrievermessung präsentiert. Konzepte für die Verfolgung und Steuerung von Robotern und die Erzeugung virtueller Modelle aus Videosequenzen wurden in der Session „Motion and Tracking“ vorgestellt. In der Session „New Applications“ wurde noch der Einsatz wissensbasierter Systeme im Zusammenhang mit 3D-Verschleißmessungen im Tunnelbau sowie digitale photogrammetrische Verfah-

ren für die Landesvermessung und die Herstellung von Orthophotos behandelt. Weiter wurden in einer speziellen Session über „Multimedia in Education“ Projekte über die Nutzung des Internets in der Lehre präsentiert.

An den ersten beiden Tagen wurde das Vortragsprogramm durch eine Firmenausstellung ergänzt. Auch hier waren Firmen mit Instrumenten im Bereich des Laser Scannings sehr stark vertreten, wie z. B. die Fa. Callidus aus Deutschland, die Fa. Mensi aus Frankreich, die Fa. Optech aus Kanada sowie die Fa. Riegl aus Österreich, ergänzt durch die Fa. Leica Geosystems mit geodätischen Instrumenten und dem Lasersystem Cyrax und die Fa. Trimble mit Systemen für die 3D-Maschinensteuerung und GPS.

Neben dem anspruchsvollen technischen Programm waren die Social Events, ein Empfang im repräsentativen Wappensaal des wunderschönen Rathauses der Stadt Wien und ein typischer Wiener Heurigenabend, bei den internationalen und nationalen Gästen gleichermaßen beliebt.

Die Tagungsbeiträge mit einem Umfang von fast 600 Seiten sind auf CD-ROM verfügbar und können für Euro 60 (+ Euro 15 für Verpackung und Versand in Europa) bei der Abteilung Angewandte Geodäsie und Ingenieurgeodäsie des Instituts für Geodäsie und Geophysik der TU Wien (e-mail: sekingeo@pop.tuwien.ac.at) bestellt werden. Das Tagungsprogramm steht online auf der Internetseite des Kongresses unter <http://www.optical3d.de.vu/> oder <http://info.tuwien.ac.at/ingeo/optical3d/o3d.htm> zur Verfügung.

Der 6. Kongress dieser Reihe wird voraussichtlich Anfang Oktober 2003 in Zürich stattfinden.

GÜNTHER RETSCHER, Wien
Chairman des Organisationskomitees

Internationales Symposium – „Photogrammetrie und Geoinformatik“

am 17.4.2002 in Jönköping, Schweden

Anlässlich der Emeritierung von Prof. Dr. KENNERT TORLEGÅRD, Königlich Technische Hochschule Stockholm, war vom Department for Infrastructure Geoinformatics and Photogrammetry zu einem wissenschaftlichen Symposium eingeladen worden. Rund 70 Teilnehmer sind gekommen, aus den Nachbarländern, aus Großbritannien, der Schweiz, Österreich und 12 aus Deutschland, um den, vor allem durch die ISPRS-Führungstätigkeit von 1984 bis 1996 und die OEEPE-Aktivitäten weltweit bekannten und verdienten Jubilar zu ehren. Kennert Torlegård war von 1984 bis 1988 Generalsekretär der ISPRS, von 1988 bis 1992 Präsident und von 1992 bis 1996 Erster Vizepräsident.

Das Symposium war als Bestandteil des Schwedischen Geodätentages „*Kartdagarna 2002*“ mit etwa 1000 Teilnehmern im Messe- und Kongresszentrum ELMIA am schönen Vätternsee organisiert worden. Damit gab es zahlreiche Möglichkeiten, die Firmenausstellung zu besichtigen, an geodätischen Veranstaltungen und an der geselligen Bootsfahrt auf dem See teilzunehmen.

Im wissenschaftlichen Programm des Symposiums wurde ein hervorragender Überblick über den gegenwärtigen Stand und die aktuellen Probleme der Photogrammetrie dargeboten. Die Veranstaltung wurde moderiert von ANDERS BOBERG, Senior Lecturer des Department for Infrastruktur der KTH und Initiator der Veranstaltung.

Referenten:

GOTTFRIED KONECNY, Hannover: *Technical Cooperation in the Geoinformatics Field.*

FRIEDRICH ACKERMANN, Stuttgart: *Development of Photogrammetry into a Digital World.*

ARMIN GRÜN, Zürich: *Deriving DTMs from Three-Line-Scanner images.*

KARL KRAUS, Wien: *Principles of Laser Scanning.*

EGON DORRER, München: *Digital Elevation Model Refinement by Shape-from-Shading.*



Teilnehmer am KENNERT TORLEGÅRD – Symposium 2002

Vordere Reihe von rechts: Anders Boberg, Stockholm, Ulf Almroth, Präsident der Schwedischen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung, Prof. Gottfried Konecny, Hannover, Prof. Kennert Torlegård und Frau Margareta Torlegård, Stockholm, Prof. Fritz Ackermann, Stuttgart, Prof. Ian J. Dowman, London, Prof. Jüri Talts und Frau Else-Britt Talts, Gävle,

Mittlere Reihe v.r.: Thomas Lithén, Gävle, Dr. Krzysztof Gajdamowicz, Stockholm, Prof. Egon Dorrer, München, Prof. Christian Heipke, Hannover, Prof. Klaus Szangolies, Jena, Prof. Jörg Albertz, Berlin, Dr. Hans Hauska, Stockholm, Prof. Joachim Höhle, Aalborg/ Dänemark, Prof. Wolfgang Förstner, Bonn, Prof. Karl Kraus, Wien,

Hintere Reihe v.r.: Dr. Torbjorn Westin, Stockholm, Frau Sara Palsson, Stockholm, Frau Dr. Helén Burman, Stockholm, Prof. Heinrich Ebner, München, Prof. Hans-Peter Bähr, Karlsruhe, Prof. Helmut Mayer, München, Dr. Eberhard Gülch, Stuttgart, Prof. Oistein Andersen, Aas/Norwegen, Prof. Risto Kuittinen, Helsinki

CHRISTIAN HEIPKE, Hannover: *Analysis of SRTM DTM – Methodology and Practical Results.*

JÜRI TALTS, Gävle: *On the Realism of a New National Elevation Data Base, based on Laser Scanning.*

JOACHIM HÖHLE, Aalborg: *Automated Orientation.*

JÖRG ALBERTZ, Berlin: *Information from Imagery – Perceptual Aspects of Photogrammetry.*

HANS-PETER BÄHR, Karlsruhe: *Stepwise Reasoning – Models from Philosophy for Image Analysis.*

IAN DOWMAN, London: *An Update on the Use of Rational Functions for Photogrammetric Restitution.*

HELMUT MAYER, München: *Fundamental Matrix and Trifocal Sensor for View Synthesis.*

WOLFGANG FÖRSTNER, Bonn: *Computer Vision and Photogrammetry – an Example for Mutual Questions: Geometry and Statistics.*

Diese vorgetragenen 13 Beiträge und 8 weitere sind in der Festschrift der Swedish Society for Photogrammetry and Remote Sensing zu Ehren von KENNERT TORLEGÅRD

abgedruckt: „Bildtechnik/Image Science“ Nr. 2002:1, Photogrammetry meets Geoinformatics.

Editor: ANDERS BOBERG, KTH Infrastructure, SE-100 44 Stockholm, Schweden, e-mail: abg@geomatics.kth.se

Editor-in-Chief: ULF ALMROTH, Präsident der Swedish Society for Photogrammetry and Remote Sensing (SSFF), Vägverket, Box 4202, SE-171 04 Solna, Schweden, e-mail: ulf.almroth@vv.se

Druck: Universitetsservice US-AB, Stockholm, ISSN 1104–5825

Das Symposium von Jönköping mit seinem sehr aktuellen, kompakten wissenschaftlichen Inhalt wurde umrahmt von einem Dinner zu Ehren von KENNERT TORLEGÅRD während einer Bootsfahrt auf dem See und von einem Abendessen auf Einladung der Veranstalter des Kartdagar 2002.

Bei dieser Gelegenheit konnten dem Jubilar auch die Glückwünsche des Präsidenten, des Vorstandes und der Mitglieder der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung übermittelt werden.

Den Veranstaltern des Symposiums Kartografiska Sällskapet (KS), Svenska Sällskapet för Fotogrammetri och Fjärranalys (SSFF) und der KTH Stockholm gebührt Dank und Anerkennung für diese hervorragende wissenschaftliche Veranstaltung.

KLAUS SZANGOLIES, Jena

7. Münchner Fortbildungsseminar Geoinformationssysteme 2002

vom 6. bis 8. 3. 2002 an der TU München

Das 7. Fortbildungsseminar des „Runden Tisch GIS e.V.“ stand unter dem Motto *Innovation, Trends, Best Practices und neue Branchen Anwendungen*. Nahezu 300 Teilnehmer, davon über 50 % neue, verdeutlichten das steigende Interesse aus Wirtschaft, Verwaltung und Forschung an der Geoinformationstechnologie.

Entsprechend den oben genannten Schwerpunkten widmete sich der erste Tag mit dem Einsatz von *Open GIS Standards* in Forschung und Praxis sowie *Location Based Services* den derzeitigen Innovationstrends der Branche. Der dritte Tag gehörte dann ganz den Themen der *Immobilienbranche*, wo derzeit eine (späte) Aufbruchsstimmung für den GIS-Einsatz zu beobachten ist.

Zusammenfassend nun eine Kurzdarstellung der wichtigsten Inhalte für alle Leser, die an der Veranstaltung nicht teilnehmen konnten:

Nach einer Einführung von Prof. MATTHÄUS SCHILCHER über die Arbeit des Runden Tisch GIS widmete sich der Mittwochvormittag den neuen Möglichkeiten des GIS-Einsatzes bei Verwendung der *Open GIS Standards* und Technologien. Die wichtigste Erkenntnis dabei war sicher, dass diese Dinge bereits heute in der Praxis einsetzbar sind und auch tatsächlich eingesetzt werden. Die Zusammenführung und Nutzung von Geo-Informationen wird so wesentlich vereinfacht und verbessert. Ein wichtiger Nebeneffekt dabei sind natürlich die erheblichen *Einsparpotenziale* auf Anbieter- wie auf Nutzerseite. Kaum verwunderlich ist es daher, dass GIS-Dienste auf OGC-Basis derzeit wie die Pilze aus dem Boden sprießen. Aufgabe der nahen Zukunft wird es aber sein, diese Dienste transparent, d.h. auffindbar zu machen. Dies wird die Aufgabe von *Geo-Portalen* wie das der High-Tech-Offensive Bayern sein.

Die Vorträge zeigten aber auch, dass neuere „Mainstream“-Entwicklungen des Web wie SOAP, UDDI und WSDL bisher kaum Eingang in der GIS-Branche gefunden haben. Die Arbeiten in dieser Richtung sind aber aufgenommen, und so ist zu erwarten, dass Web-basierte *GIS-Dienste* bald zum Standard von GIS-Betreibern für Intranet und Internet Anwendungen werden und Benutzer zukünftig Geo-Informationen verstärkt aus dem Internet beziehen werden. Dies wird die Nutzung von Geodaten auch in bisher nicht gekannte Anwendungsgebiete treiben und *neue Nutzungs- und Abrechnungsmodelle* hervorbringen.

Im Mittelpunkt des Mittwoch Nachmittag standen dann die Location Based Services, denen auf Grund neuer Telekommunikationstechnologien wie UMTS eine glänzende Zukunft vorausgesagt werden und auf denen die Hoffnung vieler Geodatenanbieter beruhen. Dennoch: die „Killer-Applikation“ für UMTS wurde auch auf dieser Veranstaltung nicht vorgestellt. Überhaupt werden kartenorientierte LBS heute noch durch die geringe Verbreitung geeigneter Endgeräte mit Farbdisplays von mindestens 240×320 Pixeln gebremst. Erfolgreicher sind dagegen Dienste, die zwar GIS-Technologie auf dem Server verwenden, dem Nutzer aber textbasierte Ergebnisse liefern. Weiterhin wurde die Unvollständigkeit von vielen LBS beklagt. So kann man zwar das nächste Hotel finden, aber nicht direkt feststellen, ob dort noch Zimmer frei sind. Den Abschluss bildete daher auch ein sehr weit in die Zukunft gerichteter Beitrag von NTT DoCoMo über die 4te Handy-Generation (nach UMTS), deren praktische Auswirkungen in Deutschland etwa im Jahr 2010 erwartet werden.

Der Donnerstag war geprägt durch Praxis-Vorträge aus verschiedenen konkreten GIS-Projekten in unterschiedlichen Themenfeldern, deren Darstellung im Einzelnen den Platz hier sprengen würde.

Den würdigen Abschluss der Vorträge am Donnerstag bildete die Verleihung des vom Runden Tisch GIS e.V. ausgelobten Förderpreises Geoinformatik 2002. Aus den neun eingereichten Diplomarbeiten und Dissertationen hatte die mit mehreren Professoren besetzte Jury zwei gleichwertige hervorragende Diplomarbeiten der TU Darmstadt von JÖRG BLANKENBACH und der TU München von EVA RÜCKERT identifiziert. Die beiden Preisträger konnten sich über Schecks in Höhe von 2500 € freuen.

Der Freitag widmete sich dann ganz der Immobilienbranche. Es fiel ein wenig auf, dass GIS und Geodaten in den Vorträgen einen eher geringen Raum einnahmen, was die bisher leider erst geringe Verbreitung des Einsatzes dieser Technologie in dieser Branche unterstreicht. Dennoch waren die Beiträge sowohl für die z.T. extra für diesen

Tag angereisten Vertreter der Immobilienbranche interessant, die sich hier über die verschiedenen Einsatzmöglichkeiten von GIS in ihrem Umfeld informieren konnten, wie aber auch für die GIS-Hersteller, Dienstleister und Betreiber, die ein besseres Verständnis für die Anforderungen und IT-Systeme (z.B. SAP) dieser Branche gewinnen konnten. Einmal mehr zeigte sich, dass sich der eher angebotsorientierte GIS-Markt stärker nachfrageorientiert aufstellen muss. Es fehlt eine Art *Zwischenhandel*, denn die Immobilienunternehmen zeigten keinerlei Neigung, sich die benötigten Daten mühsam von zahlreichen regional und thematisch eingeschränkten Anbietern zusammenzusammeln.

Neben dem Fachlichen kam auch der gesellige Teil der Veranstaltung nicht zu kurz. Beim Bayerischen Buffet und Bier aus dem Holzfass im Lagerkeller des Augustiner Brauhauses klang der anstrengende Seminar-Donnerstag in urbayerischer Atmosphäre bei fachlichem und weniger fachlichem Smalltalk aus.

Insgesamt ein gelungener Kongress zu dem den Veranstaltern nur gratuliert werden kann. Das Ziel, innovative Themen und konkrete Praxiserfahrungen an GIS-Verantwortliche und -interessierte (nicht nur) aus der Region Bayern zu vermitteln ging voll auf, wie auch die lebhaften Diskussionen nach den Vorträgen verdeutlichten. Der Mut der Veranstalter, der Immobilienbranche einen eigenen Kongresstag zu widmen, wurde mit einer durchaus bemerkenswerten Beachtung der Veranstaltung aus dieser Richtung belohnt, wozu sicher auch die Möglichkeit, flexibel nur einen oder zwei Veranstaltungstage zu besuchen, beigetragen hat.

Die Tagungsbände können bei Frau EVA HORVATH, Tel.: 089-289-22578, e-mail: eva.horvath@bv.tum.de angefordert werden.

Der Termin für das 8. Münchner Fortbildungsseminar Geoinformationssysteme ist der 12. bis 14. März 2003.

ROLAND STAHL, Bonn

DIN Norm – Entwurf für digitale Orthophotos

Das digitale Orthophoto ist heute eines der wichtigsten photogrammetrischen Produkte und kommt in unterschiedlichsten Fachgebieten zur Anwendung. Gerade dieser breite Einsatzbereich legt es nahe, Qualitätsstandards für Orthophotoprodukte zu fordern und zu definieren. Der Arbeitsausschuss „Photogrammetrie und Fernerkundung“ des Deutschen Instituts für Normung (DIN) legt mit dem Norm-Entwurf „Photogrammetrische Produkte – Teil 3: Anforderungen an das Orthophoto“ erstmals Qualitätsnormen für digitale Orthophotos und daraus abgeleitete Produkte vor (DIN 2002). Ausgangsmaterial hierfür sind digitale Messbilder mit Zentralperspektive, die aus analogen Luftbildern abgeleitet oder direkt mit digitalen Luftbildkameras erzeugt sind.

Der Norm-Entwurf behandelt drei Schwerpunktthemen:

- allgemeine Anforderungen, die bei Orthophotoprodukten einzuhalten sind,
- Prüfung zur Verifizierung der Anforderungen und
- Spezifikation für Orthophotoprojekte mit spezifischen Parametern und Fehlergrenzen.

Ergänzt wird der Norm-Entwurf mit einem Abschnitt für die Definition der verwendeten Fachbegriffe, mit je einem Beispiel für die Spezifikation und den Prüfbericht und einem Stichwortverzeichnis. Grundsätzlich ist der Norm-Entwurf so gestaltet, dass der Anwender entsprechend seiner Anwendung Spielraum für die Festlegung von Qualitätsforderungen und der Projektparameter hat.

Ausgangspunkt für die allgemeinen Anforderungen ist die Festlegung der geometrischen Auflösung des Orthophotos (Bodenpixel), der Standardabweichung der Lagekoordinaten und der radiometrischen Auflösung des Orthophotos. Abhängig davon werden für analoge Luftbilder Empfehlungen für geeignete Bildmassstäbe und für die geometrische Auflösung der A/D-Wandlung gegeben. Weitere Festlegungen gelten

der inneren und äußeren Orientierung, dem Typ und der Genauigkeit des digitalen Höhenmodelles und der Berechnung des Orthophotos jeweils in Abhängigkeit von der Größe des Bodenpixels und der geforderten Lagegenauigkeit des Orthophotos. Basierend auf dem damit festgelegten Orthophoto werden Qualitätskriterien für das Orthophotomosaik, die Orthophotokarte und für die digitale und analoge Ausgabe aller Orthophotoprodukte definiert.

Im Abschnitt „Prüfung von Orthophotoprodukten“ werden qualitative und quantitative Prüfverfahren beschrieben und in Bezug gesetzt zu den grundlegenden Qualitätsparametern. Die Art und Ergebnisse der Prüfung kann in einem Prüfbericht dokumentiert werden, zu dem in Anhang C (informativ) ein Beispiel gegeben ist.

Das dritte Schwerpunktthema des Norm-Entwurfes ist die „Spezifikation für Orthophotoprojekte“, dargestellt als Formblatt im Anhang A (normativ). Die Spezifikation entspricht in ihrem logischen Aufbau dem Abschnitt „Allgemeine Anforderungen“ und legt die wichtigsten Projekt- und Qualitätsparameter für das spezifische Projekt fest. Das Formblatt gibt Auftraggeber und Auftragnehmer weitgehend Freiheit in der Festlegung der projektspezifischen Anforderungen und kann in einfacher Weise und in kurzer Zeit ausgefüllt werden.

Der Norm-Entwurf ist nach der im Jahr 2001 erschienenen Norm DIN 18740 – Teil 1 „Anforderungen an Bildflug und analoges Luftbild“ (DIN 2001, SCHWEBEL 2001) ein weiterer Beitrag zur Qualitätssicherung in der Photogrammetrie. Eine Norm über digitale Luftbilder ist in Vorbereitung.

Literatur

DIN, 2001: DIN 18740 Photogrammetrische Produkte – Teil 1 Anforderungen an Bildflug und analoges Luftbild. – Beuth-Verlag, Berlin

DIN, 2002: Entwurf DIN 18740 Photogrammetrische Produkte – Teil 3 Anforderungen an das Orthophoto. – Beuth-Verlag, Berlin

SCHWEBEL, R., 2001: Qualitätssicherung für Bildflug und analoges Luftbild durch neue DIN-Norm. – Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation, **2001** (1): 39–44.

Anschrift des Verfassers:

Dr. REINER SCHWEBEL,
Reuchlinstr. 32, D-73431 Aalen,
Tel./Fax 07361/3 18 68,
e-mail: reiner.schwebel@t-online.de

New mapping horizons from Brazil

Orbisat da Amazônia S. A. of Sao José dos Campos, Brazil has successfully established a new division: Orbisat Remote Sensing, which is located in Campinas, Brazil and will be responsible for Orbisat's remote sensing activities in the future.

Orbisat RS is currently finalizing the construction of an airborne *Interferometric Synthetic Aperture Radar System (InSAR)*. Dr. JOAO MOREIRA, the technical director of the company and his highly sophisticated international team, are going to use this high-end system for worldwide mapping of the earth's surface (DEMs) in order to generate spatial information data sets and various kinds of maps.

The unique horizontal and vertical precision of the data allows an automated Ortho-SAR image generation, including digital ground as well as digital surface contour lines. The advanced system is capable of producing mapping data during the day and at night, even in areas that are permanently covered by clouds. In addition, it can retrieve data below dense forests, which makes it one of the most cost-efficient mapping technologies ever developed.

Orbisat RS has recently entered a strategic partnership with *Infoterra* GmbH of Germany, which is one of Europe's leading providers of geo-information products and -services. In addition, Orbisat RS cooperates with various other industry-leading companies (e.g. Digimapas, Brazil; Infostrata, Brazil and others), and will thus be able to serve the world market in a fast, comprehensive and competitive way.

Contact address:

Dr. MARKUS ROMBACH, Commercial Director Orbisat – Remote Sensing
Av. José de Souza Campos, 1815
Cj. 310 – Ed. Executive Center CEP-13025-320 Cambuí, Campinas – SP, Brasil.
web: www.orbisat.com.br
e-mail: Markus.Rombach@Orbisat.com.br

CREASO, ein führender Anbieter von technisch-wissenschaftlichen Softwarelösungen, hat die neue Version 5.5 von *IDL (Interactive Data Language)* vorgestellt. IDL wird von Research Systems, Inc., einem Unternehmen der Eastman Kodak AG, in den USA entwickelt für die interaktive und automatisierte Analyse und Visualisierung von Daten.

Mit der neuesten Version baut IDL seine Position durch eine Vielzahl neuer und verbesserter Funktionen wie der Multi-Threading-Fähigkeit, neuen Interpolations- und Rasterungsalgorithmen oder der erweiterten ActiveX-Unterstützung weiter aus.

IDL 5.5 ist verfügbar für Microsoft Windows, Linux, viele Unix-Plattformen und Apple Macintosh.

CREASO hat außerdem die neue Version 3.5 von *ENVI (Environment for Visualizing Images)* vorgestellt. ENVI ist eine Software für die multi- und hyperspektrale Analyse von Bilddaten, insbesondere aus dem Bereich der Fernerkundung.

Die in ENVI 3.5 realisierten Neuheiten bieten den bisherigen Anwendern zahlreiche zusätzliche Vorteile und Einsatzmöglichkeiten. Darüber hinaus erschließt ENVI mit den erweiterten Funktionen neue Anwendungsbereiche und Märkte, beispielsweise in der operationellen Prozessierung von Bilddaten oder dem rasch wachsenden Markt für Geoinformationsverarbeitung.

Weitere Informationen: www.creaso.com
DORIS LUTZEIER & Dr. MARTIN MEININGER
Tel.: 08105-378-122/203, Fax: 08105-378-300
e-mail: d.lutzeier@creaso.com
m.meininger@creaso.com

20 Jahre Autodesk

Die Amerikaner JOHN WALKER und DAN DRAKE gründeten im April 1982 in San Jose, Kalifornien, das Software-Unternehmen Autodesk. Sie nutzten die Gunst der Stunde: Mit der Marktreife des Personal Computers (PC) begann auch die Ära neuer Software-Firmen, die ausschließlich Programme für diese kostengünstigeren Computer entwickelten und einer breiteren Öffentlichkeit zugänglich machten. Die Autodesk-Gründer wollten Computer Aided Design (CAD) von Großrechnern auf PCs bringen.

Der digitale Siegeszug von Autodesk begann mit der Entwicklung von AutoCAD. Es folgten weitere strategische Meilensteine wie die Spezialisierung auf verschiedene Industriebereiche (Vertikalisierung) und die Internetstrategie iDesign. Heute handelt es sich bei den Autodesk-Produkten längst um Branchen-Lösungen, die abteilungsübergreifend und unternehmensweit Geschäftsprozesse optimieren.

Kein Haus, kein Auto und kein Möbel entsteht mehr ohne CAD. Das Unternehmen Autodesk bedient heute die Märkte Maschinenbau, Architektur und Bauwesen sowie Geographische Informationssysteme mit seinen unterschiedlichsten Branchenlösungen.

Im Jahr 2000 hat Autodesk CAD neu definiert: Autodesk führte seine Kunden von computer aided design hin zu internet aided design. Mit der Internetstrategie iDesign brachte Autodesk webbasierte und mobile Konstruktionslösungen auf den Markt, die den Anwendern den klaren Nutzen von Intra- und Internet sowie Collaboration zeigte. Der Einsatz dieser Konstruktionslösungen optimiert abteilungsübergreifende Prozesse. Die immensen Wettbewerbsvorteile, die durch den Einsatz digitaler Konstruktions- und Designdaten erreicht werden, bezweifelt heute niemand mehr.

Das amerikanische Unternehmen, das zu den fünfgrößten der Welt zählt, wird seit 1992 von der Präsidentin und CEO CAROL BARTZ geführt. Insgesamt 3600 Mitarbeiter arbeiten in den weltweit 150 Niederlassungen. In Deutschland ist Autodesk seit 1992

vertreten. Seit 2000 leitet ROLAND ZELLES als Geschäftsführer die Regionen Deutschland, Österreich und die Schweiz. Im Geschäftsjahr 2001/2002 erwirtschaftete Autodesk international einen Umsatz von 947 Millionen US-Dollar.

Weitere Informationen:

Maisberger & Partner, LIANE LAHL
Kirchenstraße 17c-d, D-81675 München
Tel.: 089-41 95 99 46, Fax: 089-41 95 99 46
liane.lahl@maisberger.com

SPOT IMAGE

Seit einem Jahr ist JEAN-MARC NASR Chairman und CEO von SPOT IMAGE. Und vor wenigen Monaten hat SPOT IMAGE das Sensorsystem SPOT 5 im Weltraum installiert.

Der neue Chef erläutert die Strategie des Unternehmens wie folgt: Wir werden eine neue Art von globalem kommerziellem Netzwerk aufbauen, um unsere Position als weltweit führender Lieferant von Geodaten zu konsolidieren. Mit sechs oder sieben Partnern sollen Exklusivverträge abgeschlossen werden für den Vertrieb von SPOT-Daten in spezifische Regionen oder Geschäftskanäle. Dazu gehören z.B. *DigitalGlobe* in USA und *ImageONE* in Japan.

Gleichzeitig arbeiten wir mit *Infoterra*, unserer Tochterfirma in der Astrium-Gruppe, an der Erweiterung unseres Angebots und der Schaffung kommerzieller Synergien.

In den letzten Jahren haben sich die Marktanforderungen sehr verändert. Vorher lieferten wir Roh-Daten und der Kunde verarbeitete sie zu Orthophotos o.a. Produkten. Heute erwarten die meisten Kunden von uns korrigierte Daten, also Orthophotos und Digitale Höhenmodelle (DEM). Dabei wird das System SPOT 5 HRS eine Schlüsselrolle spielen. Gemeinsam mit Institut Géographique National (IGN) arbeitet SPOT IMAGE daran, ein Produkt »Reference 3D« automatisch herzustellen und anzubieten, bestehend aus DEM, Orthophoto und Informationsblatt. Hier wird auf teure

Bodenkontrollpunkte verzichtet. Die Anfertigung eines Orthophotos erfolgt automatisch innerhalb von Minuten, mit einer Genauigkeit von besser als 10 m, bereitgestellt auf einer FTP-Seite und der Auftraggeber erhält nur eine e-mail mit der Information, dass das Bild zur Verfügung steht zum Herunterladen. Dieses Angebot soll ab Mitte 2003 zur Verfügung stehen.

Bezüglich der Auflösung wird von SPOT 5 angeboten: 20 m Color und 10 m SW als Eingangsmaterial, 10 m Color und 5 m SW als Kernprodukt und 5 m Color, 2.5 m SW und Color als Spitzenprodukt.

SPOT 5-Produkte werden zum Preis von 0.75–10 € pro km² zu erhalten sein und zwar in weniger als 24 Stunden.

Quelle: SPOT Magazine No 34/1 2002

Buchbesprechungen

ECKSTEIN, GÜNTER (Red.), 2001: Vom Messbild zur Bauanalyse – 25 Jahre Photogrammetrie im Landesdenkmalamt Baden-Württemberg. Arbeitsheft 9 des Landesdenkmalamts Baden-Württemberg, Konrad Theiss Verlag, Stuttgart, 176 S., ISBN 3-8062-1678-9, € 25,-

Im November 2000 fand am Landesdenkmalamt Baden-Württemberg ein Kolloquium zum Thema „Vom Messbild zur Bauanalyse“ statt, mit dem zugleich 25 Jahre Photogrammetrie im Landesdenkmalamt Baden-Württemberg gewürdigt wurden. Der nun vorliegende Tagungsband enthält die Berichte von 18 Autoren zu fünf, jeweils am Beispiel erläuterten Themenbereichen:

- Großinventar – Photogrammetrie und Bauaufnahme für das Kunstdenkmäler-Inventar der Stadt Schwäbisch Gmünd
- Technische Kulturdenkmale – Bestandsdokumentation und Informationssystem zur „Oberen Mühle“ in Überlingen-Goldbach
- Archäologie – Dokumentation des römischen Gutshofes in Oberndorf-Bochingen
- Steinrestaurierung – Photogrammetrie als Dokumentationsgrundlage vor Restaurierungen
- Bauforschung und statische Sicherung – Voruntersuchungen und Maßnahmen zur Sicherung der Dreifaltigkeitskirche in Konstanz

Zwei einführende Beiträge sind diesen Berichten vorangestellt, der erste vom Präsidenten des Landesdenkmalamts Baden-Württemberg, Prof. Dr. D. PLANCK, der einen kurzen Abriss der 25 Jahre photogrammetrischer Tätigkeit am Landesdenkmalamt gibt. Nach der interessanten Schilderung des Entstehens und der Entwicklung des Referats „Technische Dienste, Fotografie und Photogrammetrie“ benennt er als dessen wesentliche Aufgaben die photogrammetrische und messtechnische Untersuchung bauhistorisch und denkmalpflegerisch schwieriger Objekte sowie die Fachberatung und Gutachtertätigkeit bei Bauaufnahmen, Bauuntersuchungen und messtechnischen Bauüberwachungen gegenüber Denkmaleigentümern, Architekten und ausführenden Firmen. Dies beinhaltet zum einen interdisziplinäre Vorgehensweisen und zum anderen, dass die Vielfalt und Vielzahl der Aufgaben nur zusammen mit qualifizierten, freiberuflichen Partnern durchführbar ist, wobei das Landesdenkmalamt in erster Linie beratend und beurteilend tätig ist.

Anschließend stellt G. ECKSTEIN die Themen, Objekte und Referenten der weiteren Beiträge vor. Das Kolloquium sieht er als Brückenschlag und Chance zur Diskussion zwischen den Spezialisten der einzelnen Fachdisziplinen, die sich mit der Bewahrung des Bestandes historischer Bauwerke befas-

sen, also Archäologen und Architekten, Bauforscher und Kunsthistoriker, Restauratoren und Archivare, Bauingenieure und Vermesser. Diesem Zweck kann auch der vorliegende Tagungsband dienen. Mit seinem Querschnitt durch die photogrammetrischen und messtechnischen Arbeiten am Landesdenkmalamt bietet er eine sorgfältige und kompetente, auch vergleichende Darstellung von Methoden und Verfahrensweisen, die bei der Dokumentation und Analyse von Bauwerken angewendet werden. An einer Vielzahl von Beispielen denkmalpflegerischer Tätigkeit wird nicht nur Vorhandenes und Bewährtes aufgezeigt, sondern es besteht immer auch Offenheit für neue Fragestellungen und Möglichkeiten. Wie dem wohlbekannten Arbeitsheft 7 „Empfehlungen für Baudokumentationen“ ist auch dieser Publikation des Landesdenkmalamts Baden-Württemberg eine weite Verbreitung zu wünschen.

JÜRGEN PEIPE, München

MÖSER, MICHAEL, MÜLLER, GERHARD, SCHLEMMER, HARALD & WERNER, HANS (†), (Hrsg.), 2002: Handbuch Ingenieurgeodäsie.

Auf Grund der raschen Fortentwicklung in der Ingenieurgeodäsie ist das bewährte Handbuch Ingenieurvermessung neu konzipiert und völlig überarbeitet worden. Ergebnis dieser Neugestaltung ist das Handbuch Ingenieurgeodäsie. Das Konzept sieht acht Einzelbände vor, von denen fünf Bände vorliegen (Grundlagen, Auswertung geodätischer Überwachungsmessungen, Eisenbahnbau, ganz neu die Bände Maschinen- und Anlagenbau, Straßenbau). Geplant sind die weiteren Bände Hoch- und Tiefbau, Qualitätsmanagement und Beweissicherung sowie Grafische Datenverarbeitung und raumbezogene Informationssysteme.

Band Maschinen- und Anlagenbau

LÖFFLER, FRANZ u. a., 2., völlig neu bearbeitete und erweiterte Auflage 2002. 419 S. Gebunden. € 86,-. ISBN 3-87907-299-X. Herbert Wichmann, Hüthig Fachverlage, Heidelberg

Der Band Maschinen- und Anlagenbau wurde von neun Fachautoren aus Wissenschaft und Praxis komplett überarbeitet, aktualisiert und ergänzt. Er ist in vier Kapitel gegliedert. In den ersten drei Kapiteln wird das „Rüstzeug“ zur Lösung von Vermessungsaufgaben im Maschinen- und Anlagenbau gelegt; im vierten und letzten Kapitel werden an konkreten Beispielen detaillierte Lösungen vorgestellt.

Im ersten Kapitel wird zur Abschätzung der gewünschten Zielgröße der Zusammenhang zwischen Toleranz und Messgenauigkeit dargestellt. Das zweite Kapitel bietet für die industrielle Messtechnik die geeigneten Messmittel an von der sehr genauen Längenmessung bis 40 m, über Winkelmessung (z. T. sehr genau), Neigungsmessung, Präzisionshöhenmessung und Fluchtungsmessung. Abgeschlossen wird das zweite Kapitel mit der für die zu erreichende Genauigkeit wichtigen Problematik der Punktmarkierung und Zentriereinrichtung. Die beiden Kapitel umfassen zusammen etwa 140 Seiten.

Vom Umfang her in der gleichen Größenordnung liegt das Kapitel drei. Hier wird auf die dreidimensionale Koordinatenbestimmung eingegangen. Nebeneinander werden die drei aus geodätischer Sicht im Maschinen- und Anlagenbau gebräuchlichen Verfahren Industriemesssystem (Triangulation und polare Bestimmung), Lasertracker und Nahbereichsphotogrammetrie ausführlich behandelt. Ergänzt wird Kapitel drei mit einem kurzen Abriss von Koordinatenmessgeräten (Aufbau und Genauigkeit).

Das vierte Kapitel (auch etwa 140 Seiten) zeigt an fünf Beispielen (Messungen an Beschleunigeranlagen, Messungen in der Automobilindustrie, Messungen im Flugzeugbau, Anwendungen im Schiffbau, Kontrolle von NC-Maschinen mit dem Lasertracker) einmal die Bandbreite der Messungen im Maschinen- und Anlagenbau und zum andern die kreativen Ansätze von Seiten der Vermessung – bis zur Lösung im Detail –, die Anforderungen in diesem Bereich zu erfüllen.

Der kurze Abriss des Inhaltes mit Schlagworten soll den Informationsgehalt dieses

Bandes deutlich machen. Für weitergehende Vertiefungen sind am Ende eines jeden Kapitels umfangreiche Literaturhinweise angegeben. Das vorliegende Handbuch ist klar gegliedert, lesefreundlich und übersichtlich gestaltet, dies gilt auch für die Prinzipskizzen und sonstigen grafischen Darstellungen. Jedem Ingenieur, der in diesem Bereich arbeitet, kann dieser Band als Standardwerk empfohlen werden. Gleiches gilt für Lehrende und Studierende an Universitäten und Fachhochschulen.

Band **Straßenbau**

GERHARD MÜLLER u. a.: 2., völlig neu bearbeitete und erweiterte Auflage 2002. 292 S. Gebunden. € 82,-. ISBN 3-87907-298-1. Herbert Wichmann, Hüthig Fachverlage, Heidelberg.

Der Band Straßenbau wurde in der vorliegenden zweiten Auflage völlig neu bearbeitet und erweitert. Mit insgesamt fünf Kapiteln, denen ein einleitendes, kurzes Kapitel vorgeschaltet ist, richtet sich dieser Band gleichermaßen an Praktiker und an Studierende mit dem Anspruch, anwendungsbereites Wissen *und* Grundlagen anzubieten.

In Kapitel zwei werden kurz und knapp die Arbeitsgänge von der Vorbereitung der Messung über Grundlagen- und Geländevermessung bis zur Herstellung der erforderlichen Planungsunterlagen dargestellt. Die gesetzlichen Grundlagen und Richtlinien zur Planung von Straßen einschließlich der dazu notwendigen Verwaltungsabläufe sind u. a. in Kapitel drei zusammengefasst. Kapitel drei behandelt weiterhin Entwurfsgrundlagen für die Querschnittsgestaltung und für die Linienführung von Straßen sowie für angebaute Straßenräume.

Die eigentliche Entwurfsbearbeitung ist Gegenstand von Kapitel vier (grafische Entwurfsbearbeitung) und Kapitel fünf (Berechnung der Trassengeometrie horizontal und vertikal). Im nachfolgenden Kapitel sechs wird auf die computergestützte Straßenplanung eingegangen. Mit 90 Seiten nimmt dieses Kapitel etwa ein Drittel des Bandes ein. Themen dieses Kapitels sind Anforderung an die Daten, durchgängiger

Datenfluss einschließlich Codierung, Erdmengenberechnung und Straßenplanungssysteme. Hervorzuheben sind die Abschnitte „digitales Geländemodell“ und der (für einen solchen Band) ausführliche Vergleich von drei (nach Meinung des Autors führenden) Systemen CARD/1, VESTRA und STRATIS.

Der o. a. Anspruch des Bandes, für Praktiker und Studierende gleichermaßen interessant zu sein, ist m. E. umgesetzt worden. Viele übersichtlichen Zusammenstellungen und Tabellen haben für den Praktiker einen hohen Informationsgehalt, während sich die Studierenden die Grundlagen gerade von Kapitel vier und fünf mit Hilfe der i. a. übersichtlichen Grafiken selbst erschließen können. Zudem gestatten die Literaturhinweise am Ende eines jeden Kapitels eine weitere Vertiefung. Zusammengefasst: das Buch kann Praktikern des Vermessungswesens in Industrie, Ämtern und Institutionen sowie Lehrenden und Studierenden der Universitäten und Fachhochschulen empfohlen werden.

JÖRG MUCKE, Oldenburg

BERNHARDT, UWE (2002): GIS-Technologien in der New Economy. XIV, 345 S., kartoniert. Herbert Wichmann, Hüthig Fachverlage, Heidelberg (www.huethig.de oder www.geopoint.de). ISBN 3-87907-357-0. € 62,-

Uwe Bernhardt, bekannt durch sein Buch „GIS in EVU“, beleuchtet in dem vorliegenden Werk den Einfluss der GIS-Technologien in der New Economy. Die vielzitierten 80% aller geschäftsrelevanten Daten mit Raumbezug sind auch für die New Economy repräsentativ. Jedoch geht es in der New Economy verstärkt darum, Informationen und Dienstleistungen in den Vordergrund zu stellen und sich weniger an den Daten und Systemen aufzuhalten, die noch zu Beginn der neunziger Jahre so im Vordergrund standen. Mit dem Buch unternimmt der Autor erstmalig in der deutschen wie internationa-

len GIS-Literatur den schwierigen, insgesamt gelungenen Versuch, die umfassende Bedeutung von Raumbezug und GIS im Unternehmensbereich mehr aus der Managementperspektive darzustellen. Gleichwohl ist dies noch nicht an allen Stellen gelungen, da natürlich mit dem Begriff New Economy ein weites Feld anzugehen ist. So sind eine Vielzahl der Ausführungen und auch Definitionen an Firmenprodukten bzw. Firmenbroschüren orientiert, die relativ schnell altern und auch nicht allgemein zugänglich sind. Außerdem sind auf Grund der Gliederung teilweise Wiederholungen gegeben sowie manche Abschnitte eher eine summarische Darstellung, die sicher noch nach Marktbedeutung zu werten wären.

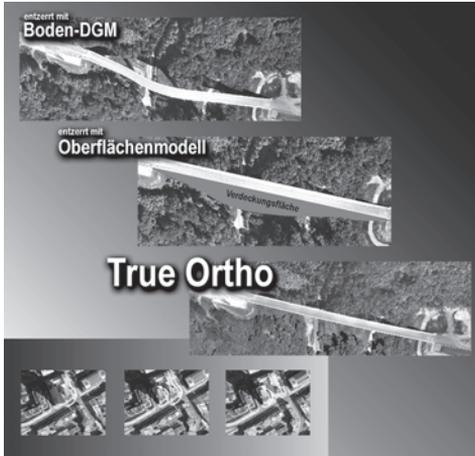
Das Buch umfasst 6 Kapitel und ist umfangreich bebildert. Kapitel 1 erklärt die grundsätzlichen Begriffe und führt in die Thematik ein. Hier werden die Merkmale der New Economy erläutert (z. B. Internet, E-Commerce, Kundenorientierung ... Knowledge Management). Dieses Kapitel formuliert die wesentlichen Herausforderungen neuer Märkte an eine integrierte Informationsverarbeitung und bietet den Raumbezug als Schnittpunkt unterschiedlichster Informationsmengen an. Kapitel 2 ist eher an der GIS-Technologie orientiert. Hier werden aktuelle Entwicklungen aufgezeigt wie z. B. mobile Datenbereitstellung und -nutzung. Außerdem wird auf die Integration von GIS und SAP eingegangen. Kapitel 3 beschreibt den Weg von Geodaten zu Geodaten Services. Eine umfangreiche Beschreibung von Geodatenbeständen sowie Aussagen zu Geschäftsmodellen und Rechtsgrundlagen sowie Begleitumstände wie die Normung und Open GIS werden gegeben. Dieses Kapitel listet auch eine Vielzahl von Initiativen auf. Kapitel 4 widmet sich spezieller dem EVU-Markt, in dem der

Autor zu Hause ist. Raumbezug und GIS-Technologien nehmen hier neben der klassischen Leitungsdokumentation mehr und mehr die Rolle der Nahtstelle zu integrierten unternehmensweiten Informationsverarbeitungsprozessen ein und werden in gängige Workflows integriert bzw. erobern unkonventionelle Geschäftsbereiche. Kapitel 5 zählt eine Vielzahl von Verwaltungs- und Wirtschaftsbranchen auf, in denen GIS-Technologien eingesetzt werden. Diese reichen von der Deutschen Bahn bis zu Precision Farming, wobei in den Aussagen zu wenig differenziert wird, inwieweit es sich hier um tatsächliche Marktsegmente einer bestimmten Größenordnung oder um Forschungsaktivitäten handelt. Dem Anspruch, GIS als Innovationsfaktor in Wirtschaft und Verwaltung zu dokumentieren, wird der Autor aber mit den Beispielen durchaus gerecht. Das Schlusskapitel beschäftigt sich dann mit Kosten-Nutzen-Aspekten und dem Projektmanagement. Hier ist der Autor Realist genug, um gerade in den oft propagierten Massenmärkten wie Location Based Services kritische Fragen zu den zugrundeliegenden Geschäftsmodellen und Konzepten zu stellen bzw. pragmatische Empfehlungen zu Wirtschaftlichkeitsnachweisen von GIS-Projekten zu geben.

Das Buch kann guten Gewissens, unabhängig von den oben geäußerten Einschränkungen, jedem GIS-Interessenten speziell in den höheren Entscheidungsebenen von Unternehmen und Verwaltungen empfohlen werden. UWE BERNHARDT öffnet hiermit den Blick auf die sich wandelnde GIS-Welt in der New Economy und gibt zahlreiche interessante Denkanstöße zur GIS-Einbettung in die unternehmensweite Informationsverarbeitung.

RALF BILL, Rostock

Zum Titelbild



True Orthoimages mit OrthoBox und inJECT

Das Titelbild zeigt für zwei Beispiele die Entstehung von wahren Orthobildern (True Orthophotos). Eine detaillierte Beschreibung des Verfahrens erfolgt in diesem Heft im Beitrag „Bemerkungen zum Thema True Orthoimage“ von WERNER MAYR.

Die Bildfolge „Brücke“ zeigt zuerst ein herkömmliches Orthophoto, wie es bei einer

Entzerrung mittels des DGM entsteht. Die Verwendung eines digitalen Oberflächenmodells (DOM) führt zur lagerichtigen Darstellung der Brücke im Orthobild, aber nicht sichtbaren Flächen im Bereich der Brücke (siehe mittlere Abbildung). Das DOM entstand durch die Integration der Brücke als 3D-Objekt in das DGM. In der dritten Abbildung wurde der verdeckte Bereich durch eine vollautomatische Mosaikbildung mit Bildinformation aus Nachbarbildern gefüllt. Alle notwendigen Arbeitsschritte werden durch die von INPHO erhältlichen Produkte OrthoMaster und OrthoVista durchgeführt. OrthoMaster und OrthoVista bilden das Paket OrthoBox.

In einer weiteren Bildfolge wird die Erzeugung von True Orthoimages für ein Stadtgebiet gezeigt. In diesem Fall wurde die 3D-Form der Gebäude für das Oberflächenmodell semi-automatisch mit dem Produkt inJECT erfasst. Die weitere Prozessierung erfolgte wie im Beispiel „Brücke“ mit OrthoBox.

INPHO GmbH, Stuttgart, www.inpho.de
Tel.: +49-711-228810, sales@inpho.de,

Vorankündigungen

16.–18. Oktober 2002: **INTERGEO 2002** in **Frankfurt/Main**. Auskünfte: www.intergeo.de

15./16. Oktober 2002: **DFD-Nutzerseminar** in **Oberpfaffenhofen**. Auskünfte durch: Dr. Günter Strunz, Tel.: 081 53-281384, Fax: 081 31-281445, e-mail: gunter.strunz@dlr.de

12.–14. März 2003: **8. Münchner Fortbildungsseminar Geoinformationssysteme** des „Runder Tisch GIS e.V.“ in **München**. Aus-

künfte durch: Frau Eva Horvath, TU München, e-mail: eva.horvath@bv.tum.de

27.–29. Juli 2003: 4th International Symposium **Remote Sensing of Urban Areas 2003** in **Regensburg**. Auskünfte durch: Dr. Carsten Jürgens, Co-chair WG VII/4, Tel.: +49-941-943-3630/3613, Fax: +49-941-943-4933, e-mail: carsten.juergens@geographie.uni-regensburg.de; www.urs2003.uni-r.de und Dr. Gabor Remetey-Fulopp, Chair WG VII/4, Tel.: +36-1-301-4052, Fax: +36-1-301-4719, e-mail: gabor.remetey@fvm.hu

INTERGEO®

Kongress und Messe der Geodäsie
und Geoinformation



Kongress und Fachmesse –
Der weltweit größte Branchentreff für:

Geodäsie Geoinformation Landmanagement

Vermessungsgeräte und Zubehör

•
Mobile GIS / Internet

•
Location Based Services

16.-18. Oktober 2002
Frankfurt a. M. • Messegelände

Fachmesse Exhibition

HINTE Messe-
und Ausstellungs-GmbH
Griesbachstraße 10
D-76185 Karlsruhe
Tel. ++49 (0)721/93133-0
Fax ++49 (0)721/93133-710
info@hinte-messe.de
www.intergeo.de

Kongress Conference

Ortlicher Vorbereitungsaus-
schuss
Kongress-Sekretariat
Herr Lothar Hecker
Stadtvermessungsamt Frankfurt
Braubachstraße 15
D-60311 Frankfurt
Tel. ++49 (0)69/212-44630
Fax ++49 (0)69/212-44377
intergeo2002@stadt-frankfurt.de
www.intergeo2002.de



Neuerscheinungen

OEEPE Official Publication No. 41, 2001:
A Structural Approach to the Management
and Optimization of Geoinformation Pro-
cesses. Report by M. MOSTAFA RADWAN,
RICHARD ONCHAGA & JAVIER MORALES.
174 S. mit CD ROM. Zu beziehen über
www.oeepe.org oder durch BKG, Abt. Geo-
informationswesen, Richard-Strauss-Allee
11, D-60598 Frankfurt am Main. ISSN
0257-0505, ISBN 3-89888-783-9

OEEPE Official Publication No. 42, 2002:
Joint OEEPE/ ISPRS Workshop – From 2D
to 3D – Establishment and maintenance of
national core geospatial databases. Report
by CHRISTIAN HEIPKE, MONIKA SESTER &
FELICITAS WILLRICH, S. 8–17.

D. EDWARDS & J. SIMPSON: Integrating,
Maintaining and Augmenting – Multi-sour-
ce Data through Feature Linking, S. 18–30.
ULRICH LENK: Strategies for integrating
high information and 2D GIS data,
S. 31–61.

Liste der OEEPE-Veröffentlichungen:
S. 62–65.

Auf CD ROM zu beziehen über www.oee-
pe.org oder durch BKG, Abt. Geoinforma-
tionswesen, Richard-Strauss-Allee 11, D-
60598 Frankfurt am Main. ISSN 0257-0505,
ISBN 3-89888-863-0

RON GRAHAM & ALEXANDER KOH, 2002: Di-
gital Aerial Survey: Theory and Practice.
234 mm × 156 mm hardback, 274 pp, libe-
rally illustrated with a colour section, CD.
Whittles Publishing, www.whittles-publi-
shing.com. Orders to: BookSource, 137
Dundee Street, Edinburgh, EH11 1BG, Tel.:
+44-131-229-6800, e-mail: custo-merservi-
ces@booksource.net. ISBN 1-870 325-98-2.
£ 50,-