

# PRG

# Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation

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

Jahrgang 2003, Heft 3

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

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

**Redaktionsbeirat** (Editorial Board): Ralf Bill, Christian Heipke, Olaf Hellwich,  
Barbara Koch, Hans-Gerd Maas, Jochen Schiewe, Matthäus Schilcher, Christiane  
Schmullius und Monika Sester



E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung  
(Nägele u. Obermiller) Stuttgart 2003



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

---

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



International Society  
for Photogrammetry  
and Remote Sensing

**DAGM**

Deutsche Arbeits-  
gemeinschaft für  
Mustererkennung e.V.



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

---

Herausgeber:

© 2003 Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) e.V.  
Geschäftsstelle: Dr. Klaus-Ulrich Komp, c/o EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH, Ostmarkstraße 92, D-48145 Münster, e-mail: Praesident@dgpf.de  
Internet: <http://www.dgpf.de>

Published by:

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

© Gedruckt auf alterungsbeständigem Papier nach ISO 9706-1994

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

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

Verantwortlich für den Inhalt der Beiträge sind die Autoren.

ISSN 1432-8364

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

Schriftleiter: Dr. rer.nat. Carsten Jürgens, Universität Regensburg, Institut für Geographie D-93040 Regensburg, e-mail: [carsten.juergens@geographie.uni-regensburg.de](mailto:carsten.juergens@geographie.uni-regensburg.de) und Dr.-Ing. Eckhardt Seyfert, Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg, Heinrich-Mann-Allee 103, D-14473 Potsdam, e-mail: [eckhardt.seyfert@lvermap.brandenburg.de](mailto:eckhardt.seyfert@lvermap.brandenburg.de)

Erscheinungsweise: 7 Hefte pro Jahrgang.

Bezugspreis im Abonnement: € 98,- 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.: 07 11/35 14 56-0; Fax: 07 11/35 14 56-99. e-mail: [mail@schweizerbart.de](mailto:mail@schweizerbart.de), Internet: <http://www.schweizerbart.de>

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

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

## PFG – Jahrgang 2003, Heft 3

### Inhaltsverzeichnis

---

#### Originalbeiträge

HEIPKE, CH.: Photogrammetrie & Fernerkundung – vom Elektronenmikroskop bis zur Planetenbeobachtung .....	165
SCHIEWE, J.: Ansätze zur Übertragung von Theorien der kognitiven Wahrnehmung auf die rechnerische Interpretation von Fernerkundungsszenen .....	181
KOCH, B., JOCHUM, M., IVITS, E. & DEES, M.: Pixelbasierte Klassifizierung im Vergleich und zur Ergänzung zum objektbasierten Verfahren .....	195
WEBNER, A.: Aufbau eines Grünflächen-Informationssystems mittels HRSC-A Daten und mobiler GPS-gestützter Kartierung .....	205
WALZ, U. & BERGER, A.: Georeferenzierung und Mosaikerstellung historischer Kartenwerke – Grundlage für digitale Zeitreihen zur Landschaftsanalyse	213

---

#### Berichte und Mitteilungen

Berichte	
ISPRS Technical Symposium Commission I .....	221
Videometrics VII .....	223
TIGO – Geodätisches Observatorium für Chile .....	224
Hochschulnachrichten	
Hochschule Vechta: J. Schiewe .....	225
Hochschule Vechta: U. Michel .....	226
Technische Universität Wien: L. Dorffner .....	227
Technische Universität Wien: K. Scipal .....	228
Technische Universität Dresden: G. Beyer .....	229
Fachhochschule Stuttgart .....	229
Mitteilungen der DGPF – Nachwuchsförderpreis .....	231
Buchbesprechungen	
STROBL, J. et al. ....	232
LUHMANN, T. ....	233
Vorankündigungen .....	234
Zum Titelbild .....	239

Internationale Gesellschaft für Photogrammetrie und  
Fernerkundung (ISPRS)

Ankündigung für den Workshop

**Challenges in Geospatial Analysis, Integration and Visualization II**

8. und 9. September 2003 in Stuttgart

Homepage: [www.gin-online.de/isprs](http://www.gin-online.de/isprs)

**Beteiligte Arbeitsgruppen:**

WG IV/3 Data Generalization and Data Mining  
(Monika Sester, Dianne Richardson)

WG IV/6 Landscape Modelling & Visualization  
(Marguerite Madden, Jochen Schiewe)

WG IV/7 Data Integration and Digital Mapping  
(Michael Hahn, Ryosuke Shibasaki)

**Wichtiger Termin:**

1. Juli 2003: Letzter Tag für  
ermäßigte Teilnehmergebühr

**Lokale Organisation:**

Prof. Dr. Michael Hahn, Fachhochschule Stuttgart, e-mail: [m.hahn.fbv@fht-stuttgart.de](mailto:m.hahn.fbv@fht-stuttgart.de)

**Technisches Programm:**

Dr.-Ing. habil. Jochen Schiewe, Hochschule Vechta, e-mail: [jschiewe@fzg.uni-vechta.de](mailto:jschiewe@fzg.uni-vechta.de)

*Beachten Sie bitte:*

*Dieser Workshop findet direkt im Anschluss an die „Photogrammetrische Woche“ statt.  
Zwischen diesen Konferenzen wird eine Wochenend-Exkursion angeboten werden!*

**Ruhr-Universität Bochum  
Fakultät für Geowissenschaften**

Im Geographischen Institut der Ruhr-Universität Bochum ist zum Wintersemester 2004/2005 die  
**C3-Professur Fernerkundung und Luftbildinterpretation  
(Nachfolge Dodt)**

zu besetzen.

Der/Die künftige Stelleninhaber(in) soll die Lehre im Fachgebiet Fernerkundung (einschließlich Geographische Informationssysteme) vertreten. Hierzu gehören Pflicht- und Wahlpflichtveranstaltungen in den gestuften Studiengängen der Geographie (B.Sc., B.A.) und Geowissenschaften (B.Sc.), insbesondere in den Geographie-Vertiefungsrichtungen „Geomatik“, „Stadt- und Landschaftsökologie“ sowie „Stadt- und Regionalentwicklungsmanagement“ (M.Sc.). In der Forschung werden einschlägige Erfahrungen und ein zukünftiger Schwerpunkt in der Anwendung und Weiterentwicklung moderner Fernerkundungsverfahren zur praxisorientierten Analyse und zum Monitoring städtischer wie ländlicher Räume erwartet. Wünschenswert wären Kenntnisse in der *soft-copy photogrammetry*.

Habilitation oder gleichwertige wissenschaftliche Leistungen sowie pädagogische Eignung werden vorausgesetzt, ebenso die Bereitschaft zur Mitwirkung an der akademischen Selbstverwaltung.

Die Ruhr-Universität Bochum strebt die Erhöhung des Anteils von Frauen in Forschung und Lehre an. Bewerbungen von Frauen sind ausdrücklich erwünscht und werden bei gleicher Eignung, Befähigung und fachlicher Leistung bevorzugt berücksichtigt, sofern nicht in der Person eines Mitbewerbers liegende Gründe überwiegen. Die Bewerbung geeigneter Schwerbehinderter ist erwünscht.

Bewerbungen mit den üblichen Unterlagen werden bis zum 30.6.2003 erbeten an den  
**Dekan der Fakultät für Geowissenschaften der Ruhr-Universität Bochum, Universitäts-  
str. 150, D-44801 Bochum.**

## Photogrammetrie & Fernerkundung – vom Elektronenmikroskop bis zur Planetenbeobachtung\*

CHRISTIAN HEIPKE, Hannover

**Keywords:** photogrammetry, remote sensing, overview, applications, future perspectives

**Zusammenfassung:** Dieser Beitrag beschreibt den derzeitigen Stand und die Zukunftsperspektiven von Photogrammetrie & Fernerkundung. Nach einer kurzen Einleitung wird auf die wechselseitigen Beziehungen zwischen Photogrammetrie und Fernerkundung und auf den gemeinsamen Bezug zur Geoinformatik eingegangen. Danach werden aktuelle Trends in der Bildfassung sowie der Bildauswertung aufgezeigt. Der Beitrag schließt mit einem Ausblick auf zukünftige Entwicklungen.

Eine wesentliche Aussage des Beitrages ist die Beobachtung, dass viele der traditionell als photogrammetrisch bezeichneten Aufgaben heute entweder weitgehend automatisch oder mit Hilfe alternativer Techniken gelöst werden können. Dieser Einengung der photogrammetrischen Aktivitäten steht jedoch eine Erweiterung des Spektrums gegenüber, die sich durch die vermehrte Verfügbarkeit digitaler Bilder und die Möglichkeiten der automatisierten Interpretation der Bilder ergibt. Durch die Integration der gegebenen Daten und Auswertemethoden können neue Anwendungsfelder erschlossen werden. Stichworte in diesem Zusammenhang sind 3D Stadtmodelle, verbunden mit ortsbezogenen Diensten (location based services) sowie die hochaufgelöste und hochfrequente Beobachtung der Erde aus dem Weltall für Zwecke der Landwirtschaft, des Katastrophenschutzes und der Umweltüberwachung.

**Summary:** *Photogrammetry & remote sensing – from scanning electron microscopes to planetary observation.* This paper describes the current status and future perspectives of photogrammetry & remote sensing. After a short introduction we look at the relationship of photogrammetry and remote sensing, and their common connections to geomatics. Then we present current trends in image acquisition and interpretation. The paper concludes with a discussion of future developments.

An important point made in this paper is the observation that many processing steps traditionally classified as „photogrammetric“ are presently either carried automatically or by alternative means. On the other hand we witness a broader use of photogrammetric activities which is explained by the increasing availability of digital images and emerging possibilities for automatic image analysis. By integrating existing data and interpretation methods new areas of application are being opened up. Examples comprise 3D city models, connected with location based services, and high frequent and high resolution Earth observation from space for applications in agriculture, disaster management and environmental monitoring.

---

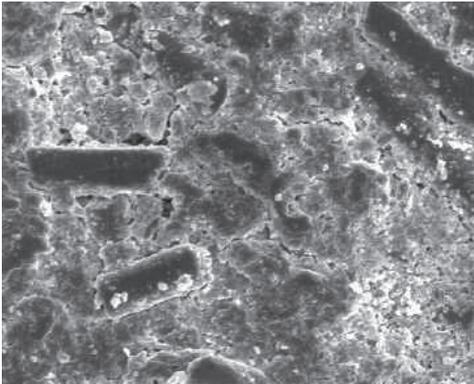
### 1 Einleitung

*Ein Bild sagt mehr als 1000 Worte*, dieses bekannte chinesische Sprichwort beschreibt viel von der Faszination, die von Photogrammetrie & Fernerkundung ausgeht, und insbesondere von den Bildern, die in Photogrammetrie & Fernerkundung aufgenommen und ausgewertet werden. Photogram-

metrie & Fernerkundung beschäftigen sich mit Bildaufnahme und -auswertung. Im Zentrum des Interesses stehen heute digitale

---

\* gekürzte Fassung eines Beitrags zum 50-jährigen Bestehen der Deutschen Geodätischen Kommission bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, abgedruckt in der Reihe E der Deutschen Geodätischen Kommission, Heft Nr. 26.



**Abb. 1:** Mit Photogrammetrie & Fernerkundung können Objekte fast beliebiger Größe ausgewertet werden: links ein Bild eines Rasterelektronenmikroskops (aus HEMMLEB & ALBERTZ 1998), rechts ein künstlerischer Anblick des Satelliten MarsExpress mit der HRSC, wie er Ende 2003 am Mars ankommt (© DLR, Berlin-Adlershof).

Bilder verschiedenster Sensorsysteme, die Automatisierung der Auswertung mit dem Ziel, möglichst nah an die Interpretationsleistung des Menschen zu gelangen, sowie die Nutzung der abgeleiteten Produkte in unterschiedlichen traditionellen und innovativen Anwendungen.

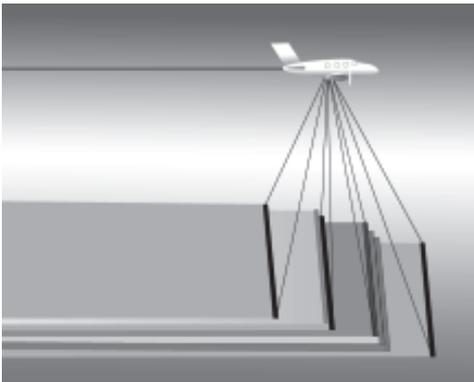
Wesentliche Charakteristika von Photogrammetrie & Fernerkundung sind die berührungslose Aufnahme, die kurze Aufnahmedauer und damit die Möglichkeit zur Erfassung dynamischer Prozesse, die umfassende flächenhafte und bildliche Dokumentation der aufgenommenen Szene, die Auswertung in drei Dimensionen sowie die Möglichkeit, fast beliebig große Objekte zu bearbeiten. Der letztgenannte Aspekt hat dem Beitrag seinen Titel gegeben, immerhin werden photogrammetrische und fernerkundliche Methoden für verschiedenste Zwecke von der Rasterelektronenmikroskopie bis hin zur Beobachtung ganzer Planeten eingesetzt (siehe Abb. 1).

Zwischen Photogrammetrie & Fernerkundung bestehen schon lange enge Beziehungen. Das gemeinsame Prinzip besteht in der flächenhaften Messung verschiedener Eigenschaften elektromagnetischer Wellen eines bestimmten Wellenlängenintervalls, die von Objekten ausgestrahlt oder reflektiert wurde. Dabei kommen als Messgrößen Energie, Phase, Polarisation und Laufzeit der elektromagnetischen Wellen in Betracht.

Die Ableitung von Eigenschaften der abgebildeten Objekte aus diesen Messungen stellt das eigentliche Ziel von Photogrammetrie & Fernerkundung dar. Die Objekte werden sowohl geometrisch in Position, Lage, Größe und Form als auch bzgl. ihrer Bedeutung (Objektklasse, Attribute) ihres radiometrischen und spektralen Aussehens (Helligkeit, Textur, spektrale Signatur) und ggf. ihres zeitlichen Verhaltens beschrieben.

Nach KONECNY & LEHMANN (1984, p. 11) ist die Photogrammetrie ein Teilbereich der Fernerkundung; aus historischen Gründen ist jedoch der Begriff „Photogrammetrie“ gleichberechtigt mit „Fernerkundung“ erhalten geblieben<sup>1</sup>. Eine zentrale und immer wichtiger werdende Rolle für Photogrammetrie & Fernerkundung spielen Geoinformationen, also Informationen über Objekte und Sachverhalte auf der Erdoberfläche mit Raumbezug, die mit Hilfe von Geo-Informationssystemen (GIS) verwaltet, analysiert, über verschiedene Informationskanäle verteilt sowie für Präsentationszwecke aufbereitet werden (siehe z.B. HEIPKE 2002). Eine wesentliche Aufgabe von Photogrammetrie & Fernerkundung ist die Erfassung

<sup>1</sup> Um diesem Umstand Rechnung zu tragen und gleichzeitig den photogrammetrischen Aspekt der Fernerkundung zu betonen, werden die Begriffe „Photogrammetrie“ und „Fernerkundung“ im vorliegenden Text mit dem Symbol „&“ verbunden.



**Abb. 2:** Zwei verschiedene Systeme für digitale Luftbildkameras werden derzeit realisiert; links das Prinzip der ADS auf der Grundlage der Dreizeilengeometrie (© Leica Geosystems, Heerbrugg), rechts die Prinzipskizze der DMC, in der verschiedene CCD Flächensensoren mit jeweils eigener Optik zur Erreichung eines flächenhaften digitalen Bildes kombiniert werden (© Z/I Imaging, Oberkochen).

und Aktualisierung der Geoinformation im Verbund mit terrestrischen Verfahren. Für Erfassung und Aktualisierung topographischer Geoinformation ist Photogrammetrie & Fernerkundung die weltweit anerkannte Standardmethode.

## 2 Bildaufnahme

Traditionell hat sich die photogrammetrische Datenerfassung aus dem Flugzeug und im Nahbereich auf photographische, zentralperspektivische Aufnahmen einzelner Bilder mit Film als Träger beschränkt; in der Satellitenfernerkundung herrschten digitale Bilder mit weit geringeren geometrischen Auflösungen (10 m und schlechter) vor. Heute hat sich die Situation grundlegend gewandelt. Die modernen Trends werden im Folgenden aufgezeigt.

### 2.1 Digitale Aufnahmen

Digitale Aufnahmen haben eine Reihe von Vorteilen im Vergleich zu Photographien. Die wichtigsten sind:

- (a) die quantitative Erfassung und damit die Möglichkeit zur quantitativen Auswertung der Lichtenergie,
- (b) die Erweiterung des erfassbaren elektromagnetischen Spektrums,
- (c) die höhere spektrale Auflösung,
- (d) die Möglichkeit zur simultanen Erfassung verschiedener Eigenschaften der elektromagnetischen Strahlung, also Lichtenergie, Phase, Laufzeit und Polarisation,
- (e) die Möglichkeit, Kopien ohne jeglichen Verlust an Bildqualität herzustellen,
- (f) die Möglichkeit zur Datenübertragung durch Computernetze und schließlich
- (g) das Potenzial zur Echtzeitverarbeitung durch Automation der Auswertung.

Diesen Vorteilen stehen als Nachteile Probleme bei der Langzeitarchivierung großer Datenmengen sowie der Verlust der unmittelbaren Wahrnehmbarkeit durch den Menschen gegenüber. Offensichtlich überwiegen die Vorteile bei weitem, denn Forschung und Praxis in Photogrammetrie & Fernerkundung gehen heute in überwiegender Mehrzahl von digitalen Bilddaten aus.

Im Nahbereich und in der Satellitenfernerkundung schon lange verbreitet, werden inzwischen auch für die Luftbildphotogrammetrie digitale Kameras auf der Grundlage der CCD-Technik entwickelt. Derzeit sind zwei konkurrierende Systeme kommerziell verfügbar, der auf der Dreizeilengeometrie beruhende Airborne Digital Scanner ADS 40 von Leica Geosystems und die auf der Kombination mehrerer Flächen-Chips mit jeweils eigener Optik beruhende Digital Modular Camera DMC von Z/I Imaging (siehe Abb. 2).

Daneben existieren weitere digitale Luftbildkameras. Zu erwähnen ist insbesondere die bahnbrechende Entwicklung der High Resolution Stereo Camera (HRSC) des DLR (WEWEL et al. 1998).

## 2.2 Hochaufgelöste Satelliten-aufnahmen

Nach einigen Fehlstarts gibt es seit ca. 3 Jahren Weltraumaufnahmen mit Bodenauflösungen von ca. 0.6–1 m panchromatisch und 2.4–4 m in den Kanälen Rot, Grün, Blau und Infrarot von kommerziellen Anbietern (PETRIE 2002). Es hat sich gezeigt, dass sich die Bilddaten je nach Anforderungen des Objektartenkatalogs für die Erfassung topographischer Informationen im Bereich 1 : 10.000 bis 1 : 25.000 und kleiner eignen. Andere Anwendungen dieser Bilddaten, wie Land- und Forstwirtschaft, Telekommunikation oder Versicherungswirtschaft, sollen hier nicht weiter diskutiert werden.

## 2.3 Multispektral- und Hyperspektral-aufnahmen

Multispektralaufnahmen sind in der Satellitenfernerkundung schon seit Jahrzehnten Standard. Hintergrund ist die Tatsache, dass sich topographische Objekte in den entsprechenden Auflösungen eher spektral und weniger durch geometrische Größen beschreiben lassen. Moderne Entwicklungen sind durch eine deutliche Erhöhung der Anzahl der Spektralkanäle gekennzeichnet. Beispiele sind DAIS (Digital Airborne Imaging Spectrometer) vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) mit 79 und Hy-Map von Integrated Spectronics mit mehreren Hundert Spektralkanälen zwischen dem sichtbaren und dem Thermalbereich. Anwendungen bestehen vor allem in der geologischen Lagerstättenforschung und der Umweltbeobachtung.

## 2.4 Dynamische Bildaufnahme

Neben einzelnen Stereoaufnahmen werden zunehmend auch Bildsequenzen und Zeitreihen von einem bzw. von mehreren Standpunkten aus aufgenommen und photogram-

metrisch verarbeitet. Zum einen vereinfachen sich manche Auswerteschritte, etwa die Bildzuordnung, da sich die einzelnen Bilder nur sehr wenig voneinander unterscheiden. Zum anderen ist es damit möglich, bewegliche Objekte auszuwerten. Anwendungen reichen von der Crashvermessung im Automobilbau über die Beobachtung von Wasseroberflächen zum Zweck des Küstenschutzes bis hin zum Katastrophenmanagement. So geben beispielsweise GIERKE & SEYFERT (2002) an, dass während der großen Überschwemmungen an der Oder im Frühjahr 1997 ein Bedarf an Luftbildern bestand, die nicht älter als 20 h sein sollten.

## 2.5 Laserscanner

Laserscanner liefern über Laufzeitmessung Strecken zwischen dem Sensor und der reflektierenden Oberfläche. Durch Ablenkung des Lasers quer zur Flugrichtung kann ein DOM bestimmt werden, wenn Position und Abstrahlwinkel des Laserstrahls bekannt sind bzw. gemessen werden können (Abb. 3). Laserscanning hat sich zu einer ernst zu nehmenden Konkurrenz zur indirekten Oberflächenbestimmung mit Hilfe

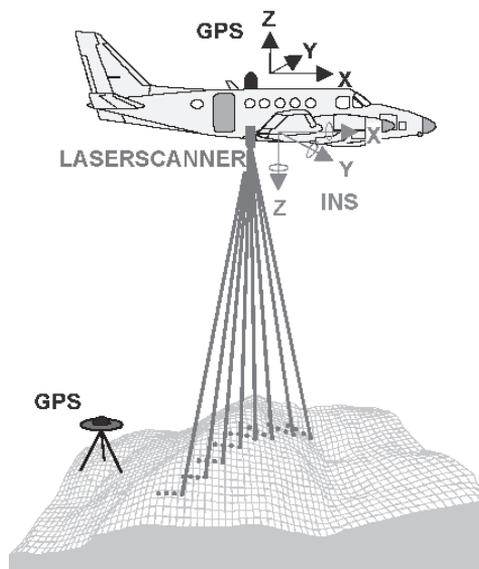


Abb. 3: Das Prinzip des Laserscannings (© Institut für Photogrammetrie, Universität Stuttgart).

stereoskopischer Höhenmessungen entwickelt. Allerdings wird die Strahlung z.B. von Wasser und nassem Untergrund fast vollständig absorbiert. Heute ist die simultane Erfassung des ersten und letzten reflektierten Pulses (first und last pulse) zusammen mit der Intensität des zurück gestrahlten Pulses möglich. Letztere stellt ein monochromatisches Bild dar, das allerdings eine deutlich schlechtere geometrische Auflösung als ein Luftbild besitzt. Deshalb gehen die Hersteller von Laserscannern dazu über, Sensorsysteme bestehend aus einem Laserscanner und einer digitalen Kamera anzubieten. Langfristig ist zu erwarten, dass eine simultane Abtastung der Erdoberfläche bzgl. Helligkeit und Abstand stattfinden wird.

## 2.6 Radar

Bildgebende Radarsensoren messen als aktive Sensoren die Laufzeit und die Intensität von ausgestrahlter und am Boden reflektierter elektromagnetischer Strahlung im Mikrowellenbereich. Sie sind von Beleuchtung und Bewölkung unabhängig und deswegen optischen Sensoren in manchen Anwendungen von vornherein überlegen. Heute sind für Photogrammetrie & Fernerkundung ausschließlich SAR-Sensoren (Synthetic Aperture Radar) im Einsatz. Aus dem Flugzeug aufgenommene SAR Bilder werden bereits in manchen Situationen für topographische Anwendungen eingesetzt. Sowohl die Geometrie als auch die speziellen Reflektionseigenschaften der Mikrowellen, insbesondere im Stadtbereich und bei metallischen Gegenständen, machen die Auswertung von Radarbilder allerdings zu einer recht großen Herausforderung. Darüber hinaus dringt die Strahlung je nach Wellenlänge und Bodenbeschaffenheit unterschiedlich stark in die Oberfläche ein.

Interferometrisches SAR (InSAR, manchmal auch als IfSAR bezeichnet; BAMLER & HARTL 1998) beruht auf der Messung von Phasenunterschieden von zwei benachbarten Orten mit bekannter Position und liefert als Ergebnis ein DOM. InSAR hat bereits große Anwendung in verschiedenen Gebieten der Erde gefunden, ein spektaku-



**Abb. 4:** SRTM, die Space Shuttle Topography Mission, eine interferometrische SAR Mission, die an Bord des Space Shuttle im Februar 2000 11 Tage die Erde umkreiste (© DLR, Oberpfaffenhofen).

läres Beispiel war die Space Shuttle Topography Mission im Februar 2000 (Abb. 4). Liegen Szenen von verschiedenen Zeiträumen vor, lassen sich unter gewissen Voraussetzungen mit Hilfe des differentiellen InSAR auch kleine Höhenunterschiede bestimmen.

## 2.7 Fazit

Insgesamt lässt sich feststellen, dass sich das Spektrum der verfügbaren Sensoren und Bilddaten in Bezug auf Aufnahmeprinzip und -technik sowie die geometrische, spektrale und zeitliche Auflösung deutlich vergrößert hat. Hinzu kommt, dass verschiedene Sensoren kombiniert zum Einsatz kommen. Der Weg führt hin zu komplexen Sensorsystemen, verbunden mit deutlich höheren Anforderungen an die Kalibrierung sowohl der einzelnen Sensoren und auch des Sensorsystems. Beispiele dafür sind auch die seit längerem bekannten Mobile Mapping Systeme (NOVAK 1991).

## 3 Bildauswertung

Die Bildauswertung wird hier in zwei Teilaspekte unterteilt, und zwar die geometrisch/radiometrische Bildauswertung sowie die Bildinterpretation. Zur geometrisch/ra-

diometrischen Bildauswertung gehören die Bildorientierung, die Ableitung digitaler Oberflächenmodelle (DOMs) und digitaler Geländemodelle (DGMs)<sup>2</sup> sowie die Orthoprojektion und Visualisierung. Die Bildinterpretation umfasst die – in der Regel dreidimensionale – Extraktion und Beschreibung von Objekten. Eine strenge Trennung zwischen beiden Gebieten ist allerdings sowohl bei der manuellen als auch bei der automatischen Bildauswertung nicht möglich, da sie sich gegenseitig beeinflussen und benötigen.

Um den Aspekt der Automation in der Bildinterpretation, der heute in Forschung und Entwicklung eine wesentliche Rolle spielt, stärker zu betonen, wird im Folgenden statt von „Interpretation“ von „Bildanalyse“ gesprochen. Während unter „Interpretation“ sowohl eine manuelle als auch eine automatische Auswertung verstanden werden kann, setzt sich für „Bildanalyse“ immer mehr eine Definition analog der von ROSENFELD (1982) durch, nach der Bildanalyse die „automatische Ableitung einer expliziten und bedeutungsvollen Beschreibung von Objekten der realen Welt mit Hilfe von Bildern“ ist. Die Vorarbeiten zur Bildanalyse stammen vor allem aus der Informatik. Heute zeichnet sich eine ähnliche Entwicklung ab wie vor ca. 30 Jahren zwischen Photogrammetrie und Fernerkundung: Trotz einiger eher historisch bedingter Unterschiede wachsen Photogrammetrie und Bildanalyse immer enger zusammen und sind, soweit ähnliche Aufgabenstellungen vorliegen, kaum noch voneinander zu trennen.

### 3.1 Geometrisch/radiometrische Bildauswertung

In der Vergangenheit waren die einzelnen Schritte der geometrisch/radiometrischen Bildauswertung relativ klar voneinander abgegrenzt. Heute verschwimmen die Grenzen

<sup>2</sup> Ein DOM enthält im Gegensatz zum DGM die topographischen Objekte auf dem Gelände (Gebäude, Vegetation). Algorithmen zur automatischen Entfernung dieses „Geländeraussehens“ werden derzeit entwickelt und haben bereits einen für die Praxis brauchbaren Stand erreicht.

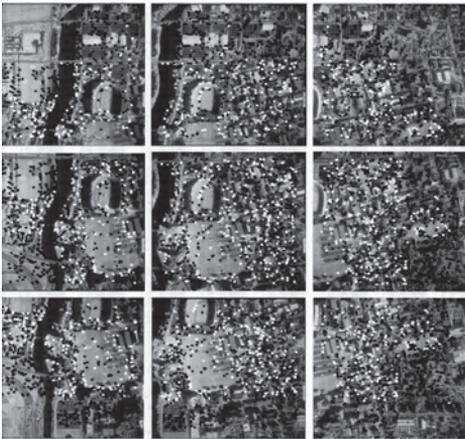
etwas, nicht zuletzt, weil der früher entscheidende Messaufwand aufgrund der Automation viel von seiner Relevanz verloren hat, und deshalb z.B. in der Orientierungsphase bereits mit einer Punktdichte gearbeitet werden kann, die auch für manche DOMs ausreicht. Konzepte zur integrierten Bestimmung von Bildorientierung, DOM und Orthobildern sind schon seit längerem bekannt (EBNER et al. 1987, WROBEL 1987, HELAVA 1988, HEIPKE 1990). Der Übersichtlichkeit halber sollen die einzelnen Schritte im Folgenden trotzdem getrennt betrachtet werden.

#### 3.1.1 Bildorientierung

Die Bildorientierung wird zweckmäßigerweise in die Teile Sensormodell, also die mathematische Transformation zwischen Bild- und Objektraum, und Bestimmung homologer Bildprimitive (in den meisten Fällen Bildpunkte) unterteilt. Bei den Sensormodellen ist zunächst die flächenhafte Zentralprojektion als klassischem Standardfall der Photogrammetrie von der Zeilengeometrie. Die Zeilengeometrie wurde unabhängig voneinander von DERENYI & KONECNY (1966) und – speziell für die Dreizeilengeometrie – von HOFMANN et al. (1984) entwickelt. Daneben existieren je nach verwendetem Sensor noch Sonderfälle, wie z.B. bei der Verwendung von Panoramakameras oder Elektronenmikroskopen.

Die flächenhafte Zentralprojektion wird traditionell im Rahmen einer Bündelblockausgleichung mit Hilfe der Kollinearitätsgleichungen formuliert. Die Vorteile und Erfolge dieses Vorgehens sind hinlänglich bekannt. Allerdings ist festzuhalten, dass das resultierende Gleichungssystem nicht-linear in den unbekanntenen Elementen der Ausgleichung (der Bildorientierung und den Objektkoordinaten der Verknüpfungspunkte) ist. Darüber hinaus ist die Einführung von linien- und flächenhaften konjugierten Bildelementen sehr komplex und unterbleibt deshalb in der Regel<sup>3</sup>. Ausgehend von diesen

<sup>3</sup> Linien- und flächenhafte homologe Bildelemente sind zwar für die Bildorientierung nicht notwendig, können aber hilfreich sein.



**Abb. 5:** Die Automatische Aerotriangulation kann mit sehr viel mehr Punkten pro Bild arbeiten als bei der manuellen Messung; hier ein Beispiel mit ca. 100 Punkten pro Bild.

Beobachtungen und der bekannten Problematik, gerade im Nahbereich Näherungswerte für die Bildorientierung zu beschaffen, wurden in den letzten Jahren alternative Ansätze für die flächenhafte Zentralprojektion auf der Grundlage der projektiven Geometrie untersucht (FAUGERAS 1993, HARTLEY & ZISSERMAN 2000, WROBEL 2001), teilweise ausgehend von alten Arbeiten aus der Photogrammetrie (RINNER 1963, THOMPSON 1968). Die erarbeiteten Methoden beruhen auf linearen Gleichungssystemen für die Berechnung der Orientierung von bis zu drei Bildern. Die Ergebnisse können bei Bedarf als Näherungswerte in einer nachfolgenden Bündelausgleichung verwendet werden. Darüber hinaus lassen sich auf elegante Weise punkt-, linien- und flächenhafte Bildprimitive gemeinsam verarbeiten (FÖRSTNER 2000), eine Eigenschaft, die für die stereoskopische Bildanalyse sehr vorteilhaft ist.

Die Bestimmung homologer Punkte geschieht heute fast ausschließlich über digitale Bildzuordnung. Während diese Aufgabe im Nahbereich aufgrund der teilweise stark unterschiedlichen Perspektiven der Bilder noch ein aktueller Forschungsgegenstand ist (z.B. VAN GOOL et al. 2002), sind die Methoden im Luftbild- und Satellitenbereich inzwischen weitgehend ausgereift und unter

dem Stichwort „Automatische Aerotriangulation“ (Abb. 5) auch in der Praxis verfügbar (HEIPKE & EDER 1998). Dabei werden die automatisch erzeugten Bildkoordinaten der Verknüpfungspunkte in der Regel interaktiv ergänzt bzw. korrigiert.

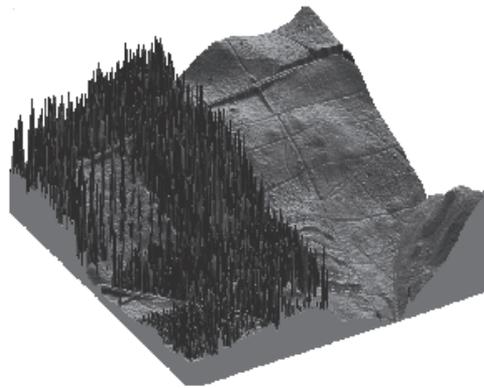
In der Luftbildphotogrammetrie sind in den letzten Jahren als Alternative zur Aerotriangulation die direkte und die integrierte Sensororientierung intensiv untersucht worden (SCHWARZ et al. 1993, COLOMINA 1999, CRAMER 2001). In beiden Fällen werden Daten von GPS-Empfängern und IMUs zur Bestimmung der Elemente der äußeren Orientierung verwendet. Bei der direkten Sensororientierung ersetzen diese Daten Verknüpfungspunkte und damit die gesamte Aerotriangulation; bei der integrierten Sensororientierung werden alle Informationen in einer gemeinsamen Ausgleichung zur Bestimmung der Bildorientierung verwendet. Umfangreiche Tests (HEIPKE et al. 2002) haben die Praxisreife dieser Lösung insbesondere für die Herstellung von Orthobildern, aber auch die damit verbundenen besonderen Herausforderungen deutlich gemacht. Wird der Kalibrierung des Gesamtsystems die nötige Aufmerksamkeit geschenkt, lassen sich heute mit Hilfe der direkten Sensororientierung Punktgenauigkeiten am Boden im Bereich weniger dm erreichen, bei der integrierten Sensororientierung erreicht man dieselben Genauigkeiten wie in der Aerotriangulation, und zwar bei sehr viel höherer Flexibilität bzgl. der Flugplanung und unter Einsparung von Passpunkten. Inzwischen ist deutlich, dass die Bedeutung der Aerotriangulation stark zurückgehen wird. Sie wird in Zukunft für die meisten Anwendungen lediglich eine Methode zur Kalibrierung des Sensorsystems zur direkten Sensororientierung sein, und gelegentlich im Rahmen der integrierten Sensororientierung zur Genauigkeitssteigerung der Ergebnisse eingesetzt werden. Im Nahbereich ist dagegen damit zu rechnen, dass die Bündelausgleichung weiterhin die Standardmethode zur Bestimmung der Bildorientierung bleiben wird.

### 3.1.2 Ableitung digitaler Oberflächenmodelle und Geländemodelle

Zur Ableitung digitaler Oberflächenmodelle aus flugzeuggetragenen Daten existieren zur Zeit drei konkurrierende Verfahren: die indirekte DOM-Bestimmung auf der Grundlage stereoskopischer Aufnahmen, die wie die Orientierung auf der digitalen Bildzuordnung beruht, sowie die beiden direkten Aufnahmeverfahren Laserscanning und InSAR. Während sich mit Laserscanning und InSAR im Allgemeinen höhere Automationsraten erreichen lassen (für einen Vergleich beider Verfahren siehe MERCER 2001), haben die stereoskopischen Bilder eine höhere Auflösung; deshalb ist auch für das resultierende DOM ein höherer Detailgrad erreichbar. Aus demselben Grund lässt sich geomorphologische Information (Geländekanten usw.) derzeit nur aus Bildern und nur interaktiv zuverlässig ableiten. Diese Informationen sind beispielsweise für die Gebäuderekonstruktion zur anschließenden Visualisierung und in der Hydrographie wesentlich.

Allen drei Verfahren gemeinsam ist das Problem, aus dem abgeleiteten DOM bei Bedarf ein DGM zu berechnen. Dabei handelt es sich eigentlich um ein Problem der Bildanalyse, denn die störenden Objekte auf dem Gelände (Gebäude, Bäume etc.) müssen erkannt und dann eliminiert werden. Die Aufgabe wird derzeit jedoch mit vergleichsweise einfachen Bildverarbeitungsoperatoren und statistischen Methoden relativ erfolgreich gelöst (KRAUS 1997, VOSSELMAN 2000; Abb. 6).

Es ist zu erwarten, dass sich die Bodenauflösung von Laserscanning und InSAR und damit auch die Qualität der DOMs verbessern wird. Dies wird wie bei der Bildorientierung zu einer größeren Bedeutung der beiden direkten im Vergleich zu dem indirekten Verfahren führen. Falls jedoch auch Bilder als Ergebnis benötigt werden, ist der Aufwand für den zusätzlichen Sensor gegen den Vorteil der höheren Automation abzuwägen. Für hochqualitative DOM und DGM wird wahrscheinlich die stereoskopische Vorgehensweise weiterhin Bestand haben,



**Abb. 6:** Automatische Ableitung eines DGM (rechts) aus einem DOM (links).

und zwar als semiautomatische Methode, in der einfaches Gelände automatisch bearbeitet wird, komplexere Gebiete wie Siedlungen dagegen manuell.

Im Nahbereich stellt sich das Problem der Oberflächenbestimmung anders dar. Photogrammetrische Bilddaten und Laserscanning werden ebenso verwendet wie vom Flugzeug und vom Satelliten aus, aufgrund der geringeren Objektentfernung besteht bzgl. der Sensorauswahl und der Auswertemethodik aber eine größere Flexibilität. Zu erwähnen sind die bekannten Lichtschnittverfahren sowie diverse sogenannte „shape from X“-Methoden. X kann dabei z.B. für Bewegung, Fokussierung, Konturen, Schattierung (dieses Verfahren wird unter dem Namen shape-from-shading auch in der planetaren Fernerkundung eingesetzt; PIECHULLEK 2000) und Textur stehen. Gute Ergebnisse werden derzeit im Nahbereich mit Laserscanning, mit Lichtschnittverfahren in Verbindung mit Bildzuordnung und – vor allem für bewegte Objekte und mit kostengünstigen Sensorausrüstungen – mit Stereoverfahren erzielt (POLLEFEYS et al. 2002), letztere oft in Verbindung mit projektiver Geometrie zur Bestimmung der Bildorientierung.

### 3.1.3 Orthoprojektion und Visualisierung

Die Orthoprojektion ist ein seit langem bekanntes Verfahren und soll nur insofern erwähnt werden, als es inzwischen erste kommerziell verfügbare Lösungen für sogenannte „true orthos“ gibt (MAYR 2002). True orthos sind Orthobilder, für die bei der Differenzialentzerrung ein strenges DOM und nicht wie traditionell ein DGM verwendet wurde, und bei denen die dabei entstehenden sichttoten Räume durch Information aus Nachbarbildern gefüllt wird. Als Ergebnis finden sich zum Beispiel Dachflächen und Brücken am geometrisch korrekten Ort, Hauswände sind nicht sichtbar, und auch die aus traditionellen Orthobildern großen Maßstabs bekannten Doppelabbildungen treten nicht auf.

Prinzipiell unterscheidet sich die Orthoprojektion nicht von der Texturierung dreidimensionaler geometrisch beschriebener Objekte, die in der Computergraphik auch

mit den Begriff „rendering“ und „texture mapping“ bezeichnet wird. Insofern sind die Erstellung photorealistischer Visualisierungen (Abb. 7) und bewegter Computeranimationen, beides immer wichtiger werdende Gebiete der Virtuellen Realität, Bereiche mit engen Beziehungen zur Photogrammetrie. Die vielfach zitierte und praktizierte Erstellung von Geländeüberflügen und virtuellen Städtespaziergängen, aber auch Flugsimulatoren und Computerspiele sind nur einige Bereiche, die unser vermehrtes Augenmerk verdienen. Ein wichtiger Aspekt dieser Anwendungen ist die Integration luftgestützter und terrestrischer Bilddaten sowie deren Fusion mit anderen Messmethoden.

## 3.2 Bildanalyse

### 3.2.1 Hintergrund und a priori Wissen

Wie schon erwähnt kann die Bildanalyse als automatische Ableitung einer expliziten Beschreibung der in den Bildern dargestellten



**Abb. 7:** Original (links) und photorealistische Visualisierung (rechts), hier am Beispiel der Bibliothek des Doms von Siena (© Zentrum für Graphische Datenverarbeitung, Fraunhofer-Gesellschaft, Darmstadt).

Objektraumscene definiert werden. Dazu müssen einzelne Elemente der Szene, im Folgenden Objekte genannt, erkannt werden. Diese Erkennung setzt Wissen über die Objekte in Form von Modellen voraus, das dem Rechner vorab zugänglich gemacht werden muss. Aus diesem Grund wird auch von „modellbasierter“ oder „wissensbasierter“ Bildanalyse gesprochen. Es ist inzwischen klar, dass sowohl geometrische als auch radiometrische Informationen über die einzelnen Objekte benötigt werden. Je größer der Maßstab der zu analysierenden Bilder und je höher damit der gewünschte Detailgrad ist, desto wichtiger werden dabei geometrische Informationen, da man immer weiter in den Bereich der menschlichen Aktivitäten eindringt, der bzgl. der Objekte (Straßen, Häuser usw.) durch geradlinige Begrenzungen, Symmetrien, rechte Winkel und andere geometrische Aspekte gekennzeichnet ist. Demgegenüber dominieren in geringeren Auflösungen radiometrische und spektrale Eigenschaften, was den guten Erfolg der Multispektralklassifikation für Satellitenbilder größerer Bodenauflösung ebenso erklärt wie die mäßigen Ergebnisse derselben Technik für hochauflösende Satelliten- und Luftbilder selbst bei wissensbasierter Steuerung.

Die Erstellung der Objektmodelle ist ein Kernproblem der modellbasierten Bildanalyse. Bis heute erfolgt sie per Hand, und es ist dabei vorab nicht klar, welche Elemente einer Objekt- und Szenebeschreibung notwendig sind. Auch können Ergebnisse, die sich bei der Übertragung der Modelle von einem Bilddatensatz auf einen anderen ergeben müssten, nicht vorhergesagt werden. Diese Erkenntnis hat dazu geführt, neben Ansätzen zum automatischen Lernen auch statistische Verfahren wie Neuronale Netze zur Wissensrepräsentation zu verwenden. Derzeit sind diese Ansätze noch in den Anfängen begriffen; es ist jedoch offensichtlich, dass eine effiziente Lösung zur automatischen Erstellung von Wissensbasen eine wesentliche Voraussetzung für den Erfolg der Bildanalyse insgesamt ist.

Eine andere Möglichkeit zur Einführung von a priori Wissen beruht auf der Überle-

gung, dass Bilder in der Regel für einen bestimmten Zweck analysiert werden, der zumindest in den Grundzügen vorab festgelegt ist. Beispielsweise sind die in GIS vorzuhaltenden Informationen in Objektartenkatalogen beschrieben. Daraus können wichtige Hinweise zur Formulierung der Objektmodelle der Bildanalyse entnommen werden (siehe auch HEIPKE et al. 2000). Weiterhin folgt aus dieser Überlegung, dass die Objektmodelle der Bildanalyse ebenso wie die Objektartenkataloge in GIS hierarchisch aufgebaut werden sollten. In der oberen Ebene werden nur grobe Kontextgebiete unterschieden, etwa Siedlung, Wald, offene Landschaft und Wasserflächen. Eine Verfeinerung findet dann innerhalb des jeweiligen Kontextgebietes statt.

Wird die Bildanalyse zur Überprüfung oder Aktualisierung von GIS-Datenbeständen eingesetzt, so können die vorhandenen Daten auch direkt als Wissensbasis verwendet werden. Die Berücksichtigung der Qualität der verwendeten Daten stellt bei dieser Vorgehensweise noch einen offenen, aber wesentlichen Punkt dar. Trotz vielfältiger Anstrengungen existiert heute noch kein allgemeines Verfahren zur Qualitätsbeschreibung von Geoinformation. Die bisweilen angeführte Definition, nach der Qualität „fitness for use“ sei, hilft hier wenig weiter, da in diesem Zusammenhang gerade eine von einer spezifischen Anwendung unabhängige und damit allgemeingültige Beschreibung der Qualität von Geoinformation benötigt wird.

### 3.2.2 Stand und Perspektiven

In der Bildanalyse sind in den letzten Jahren wichtige Fortschritte erzielt worden (z.B. MAYER 1998), wenn auch ein Durchbruch in Richtung praktische Anwendungen noch auf sich warten lässt. Einzelne topographische Objekte wie Straßen im offenen Gelände (BAUMGARTNER et al. 1997, WIEDEMANN 2002; Abb. 8) und teilweise auch in bebauten Gebieten (HINZ & BAUMGARTNER 2002), Gebäude (FISCHER et al. 1998, BAILLARD et al. 1999; Abb. 9) und Vegetation (BORGERS et al. 1999, PAKZAD 2001) können in-



**Abb. 8:** Ergebnis einer automatischen Straßenextraktion im offenen Gelände (© Lehrstuhl für Photogrammetrie und Fernerkundung, Technische Universität München)

zwischen unter gewissen Voraussetzungen erfolgreich automatisch extrahiert werden. Durch Kombination von Bilddaten mit DOMs und/oder Grundrissinformation

aus dem Kataster können die Ergebnisse weiter verbessert werden (HAALA 1996, BRENNER 2000, STRAUB & HEIPKE 2001; Abb. 10).

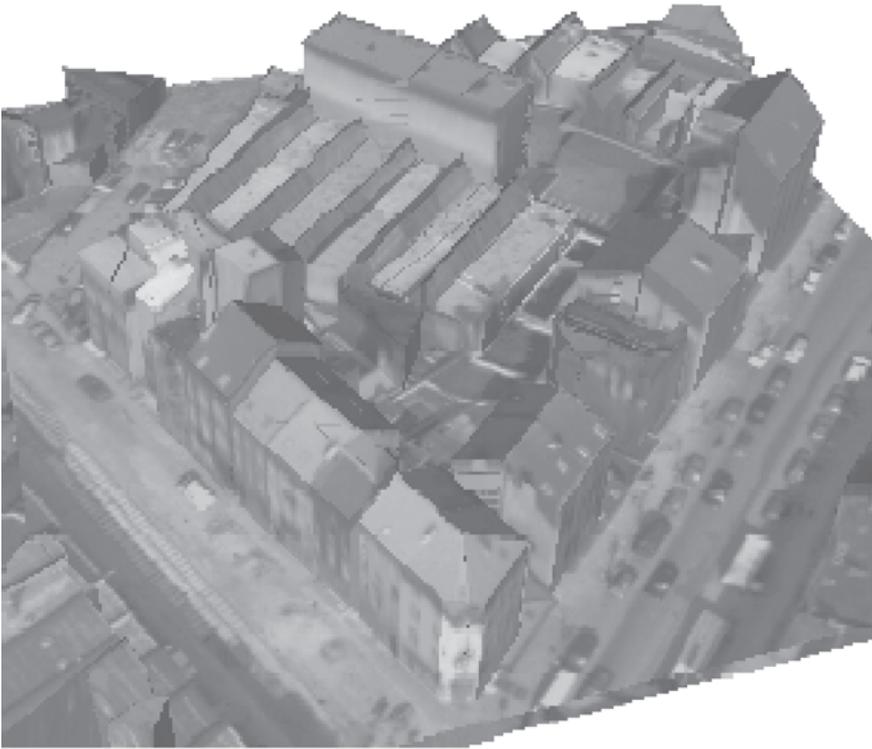
Im Nahbereich sind die Erfassung und Verfolgung von Menschen sowie die Gesichts- und Gestenerkennung in Videosequenzen zentrale Themen. Anwendungsfelder liegen hier z.B. in der Erforschung von Bewegungsabläufen im Hochleistungssport, in der Überwachung von sicherheitsrelevanten Einrichtungen durch visuelle Zugangskontrolle, in der Blickverfolgung als Steuerungsinformation für dynamische Mensch-Maschine-Schnittstellen (Stichwort „Augmented Reality“) und in der 3D-Modellierung und Visualisierung von Menschen als Erweiterung der klassischen Fotografie (z.B. FUA 2000).

Die derzeitigen Überlegungen und Entwicklungen in der Bildanalyse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

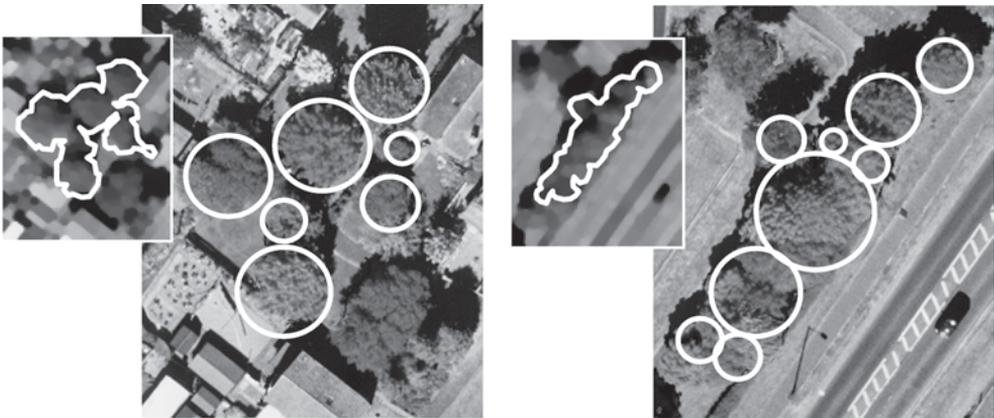
- simultane Verwendung mehrerer Bilder, verbunden mit einem frühzeitigen Übergang in den dreidimensionalen Objekt-raum, dabei gleichberechtigte Verwendung von Punkt-, Linien- und Flächenin-



**Abb. 9a:** Ausgangsbilder für eine Gebäuderekonstruktion aus sechs sich überlappenden Bildern (aus BAILLARD et al. 1999).



**Abb. 9b:** Ergebnis einer Gebäuderekonstruktion in Schrägsicht (aus BAILLARD et al. 1999).



**Abb. 10:** Zwei Ergebnisse einer automatischen Extraktion von Bäumen aus Multispektralbildern und einem DOM in mehreren Auflösungsstufen (aus STRAUB & HEIPKE 2001).

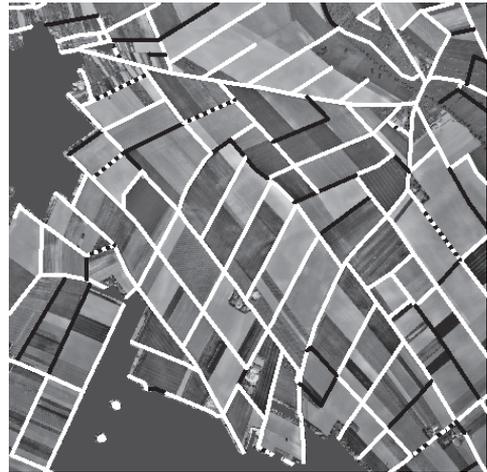
- reichhaltige, modulare Objektmodellierung, die geometrische, radiometrische und spektrale Informationen umfasst,

- gemeinsame Verwendung mehrerer Bildauflösungen und Detailstufen in der Objektmodellierung im Sinne einer Multiskalenanalyse,

- simultane Auswertung von verschiedenen Datenquellen, z.B. Einzelbilder und Bildsequenzen mit DOMs und Grundrissdaten, mit kombinierten Methoden,
- Verfeinerung und Erweiterung existierender GIS-Datenbestände, z.B. durch Integration von 2D Vektordaten mit DGMs,
- verstärkte Modellierung von Kontext und ganzer Szenen statt einzelner Objektklassen,
- Untersuchungen zur Formulierung und Verwendung von unsicherem Wissen, z.B. auf der Grundlage von Bayesnetzen und Ansätzen zur fuzzy logic, damit die erzielten Ergebnisse im Sinne einer Selbstdiagnose automatisch bewertet werden können,
- Untersuchungen zur automatischen Erstellung von Wissensbasen.

Eine wichtige Rolle bei der Weiterentwicklung der Bildanalyse spielt die Frage, wie die Strategie der gesamten Auswertung aussieht. Dazu gehören Entscheidungen, welche Daten in welchen Auflösungen und mit welchen Methoden in der Auswertung verwendet werden sollen (etwa die Trennung eines Bildes in Kontextgebiete durch Multispektralklassifikation mit grob aufgelösten Bilddaten, gefolgt von der Detektion einzelner Objekte auf der Grundlage eines DOMs und die verfeinerte Rekonstruktion mittels hochauflösender Bilddaten). Auch Antworten auf Fragen wie, zu welchem Zeitpunkt der Wechsel vom Bild- in den Objektraum vollzogen werden soll, oder welches Modellwissen für die Extraktion und welches für die Selbstdiagnose verwendet wird, müssen im Rahmen der Definition der Auswertestrategie beantwortet werden. Es hat sich gezeigt, dass derartige strategische Entscheidungen einen wesentlichen Einfluss auf den Erfolg der Bildanalyse haben.

Trotz dieser vielfältigen Aktivitäten ist derzeit nicht absehbar, dass Systeme zur rein automatischen Bildanalyse in der nächsten Zeit praxisreif werden. Dagegen zeigen sich erste Erfolge im Bereich der semi-automatischen Verfahren. Semi-automatische Ansätze beziehen den menschlichen Operateur im Gegensatz zu automatischen Ansätzen



**Abb. 11:** Automatische Überprüfung des ATKIS-Straßennetzes: weiße Straßen wurden verifiziert, schwarze Straßen konnten im Bild nicht erkannt werden, bei den gestrichelt dargestellten Straßen konnte keine eindeutige Entscheidung getroffen werden (aus WILLRICH 2002).

von vornherein in den Auswerteprozess mit ein. Der Operateur erledigt dabei vor allem Aufgaben, die Entscheidungen (z.B. Auswahl von Algorithmen und Parametereinstellungen) sowie die Beurteilung und ggf. Korrektur von Zwischen- und Endergebnissen erfordern. Beispiele sind die Arbeiten von ROTTENSTEINER (2001; Gebäudeerfassung) und BAUMGARTNER et al. (2002; Straßenextraktion), die kommerziellen Softwarepakete CyberCity Modeller (GRÜN & WANG 2001) und inJect (GÜLCH & MÜLLER 2001) zur Erfassung von 3D Stadtmodellen sowie Ansätze zur Verifikation und Verfeinerung von Straßendaten, die derzeit in Deutschland (WILLRICH 2002; Abb. 11) sowie in der Schweiz (ZHANG 2003) umgesetzt werden. Es ist zu erwarten, dass sich diese semi-automatischen Ansätze, die heute an der Schwelle zur breiten Anwendung stehen, in den nächsten Jahren in der Praxis immer mehr durchsetzen werden. Für die Akzeptanz beim Nutzer wird voraussichtlich die Benutzeroberfläche von größerer Bedeutung sein als der Automationsgrad, vorausgesetzt, dass letzterer es ermöglicht, effizienter zu arbeiten als in einem rein manuellen Prozess.

#### 4 Ausblick

Wie die Ausführungen gezeigt haben, stehen Photogrammetrie & Fernerkundung vor wichtigen Änderungen. Viele der klassischen Aufgaben werden heute automatisch oder mit alternativen Techniken gelöst. Gleichzeitig gibt es eine Welle der Integration bzw. Fusion verschiedener Sensoren, Daten und Methoden. Darüber hinaus wächst die Bedeutung der Geoinformatik als Dach von Photogrammetrie & Fernerkundung.

Im technischen Bereich sind die Entwicklungen der letzten Jahre im Bereich der Bildaufnahme sicher am spektakulärsten; aus wissenschaftlicher Sicht gilt dies für die Fortschritte bei der Automation der Bildinterpretation. In beiden Bereichen besteht natürlich Zusammenarbeit mit und Konkurrenz zu Nachbardisziplinen, insbesondere mit der Elektrotechnik und der Informatik. Der spezifische Vorteil der Photogrammeter war bisher ihre Kenntnis der Anwendungen, insbesondere für topographische Anwendungen; es sollte unser Anliegen sein, dass dies auch weiterhin so bleibt.

Wichtig ist auch der Trend hin zu immer mehr Bildern. Heutzutage gibt es mehr Videokameras und mehr Satellitenbilder als jemals zuvor, und alles deutet darauf hin, dass sich dieser Trend weiter verstärkt. Der Hintergrund ist sowohl die durch Fernsehen, Video- und Computerspiele usw. geprägte „visuelle Welt“, in der wir leben als auch die Möglichkeiten, die sich z.B. in der Land- und der Versicherungswirtschaft sowie in der Umweltforschung durch eine hochauflösende und hochfrequente Beobachtung der Erde ergeben. Konsequenterweise wird beispielsweise derzeit in Deutschland mit RapidEye ein Beobachtungssystem aufgebaut, das die wichtigsten landwirtschaftliche Flächen in Europa und den USA mehrfach pro Woche aufnehmen kann, in den USA gibt es mit Resource21 und GEROS ähnliche Entwicklungen. In diesen Bereich gehört auch die zunehmende Bedeutung von Radar, die sich z.B. sowohl in der zunehmenden Nutzung der flugzeuggetragenen Systeme als auch in den Satellitenprojekten ENVISAT und TerraSAR manifestiert.

Mit den neuen Daten und den neuen Möglichkeiten sind zu den klassischen Anwendungen von Photogrammetrie & Fernerkundung viele neue hinzugetreten. Einige wurden im Text bereits genannt; zentral für die Zukunft sind sicher 3D Stadtmodelle, deren Erstellung, aber insbesondere auch deren Nutzung für verschiedene Planungszwecke und breite Anwenderkreise, z.B. in Verbindung mit ortsbezogenen Diensten (location based services) über das Internet absehbar ist. Dabei wird es zu einer immer stärkeren Integration zwischen luftgestützten und terrestrischen Methoden der Datenerfassung sowie einer weitgehenden Verschmelzung zwischen Bildanalyse und Computergraphik im Rahmen der Erstellung virtueller, photorealistischer Ansichten der Umwelt kommen. Da es wenig wahrscheinlich ist, dass alle für derartige Dienste notwendigen Daten vorab erfasst und gespeichert werden können, ergeben sich langfristig für die Bildanalyse neuen Anforderungen und Möglichkeiten: es geht z.B. um die Interpretation von Bildsequenzen in Echtzeit, aufgenommen von beliebigen Standorten aus, also um „mobile real-time vision on demand“.

#### Literatur

- BAILLARD, C., SCHMID, C., ZISSERMAN, A. & FITZGIBBON, A., 1999: Automatic line matching and 3D reconstruction of buildings from multiple views. – IAPRS (32) 3-2W5: 69–80.
- BAMLER, R. & HARTL, P., 1998: Synthetic aperture radar interferometry. – Inverse Problems (14): R1-R54.
- BAUMGARTNER, A., ECKSTEIN, W., MAYER, H., HEIPKE, C. & EBNER, H., 1997: Context supported road extraction. – In: GRÜN, A., BALTSAVIAS, E. & HENRICSSON, O. (Eds.): Automatic extraction of man-made objects from aerial and space images (II). – 299–308, Birkhäuser, Basel.
- BAUMGARTNER, A., HINZ, S. & WIEDEMANN, C., 2002: Efficient methods and interfaces for road tracking. – IAPRS (34) 3B: 28–31.
- BORGEFORS, G., BRANDTBERG, T. & WALTER, F., 1999: Forest parameter extraction from airborne sensors. – IAPRS (32) 3-2W5: 151–158.
- BRENNER, C., 2000: Dreidimensionale Gebäude-rekonstruktion aus digitalen Oberflächenmo-

- dellen und Grundrissen. – DGK, Reihe C, Nr. 530, 124 p.
- COLOMINA, I., 1999: GPS, INS and aerial triangulation: What is the best way for the operational determination of photogrammetric image orientation? – IAPRS (32) 3-2W5: 121–130.
- CRAMER, M., 2001: Genauigkeitsuntersuchungen zur GPS/INS-Integration in der Aerotriangulation. – DGK, Reihe C, Nr. 537, 122 p.
- DERENYI, E. & KONECNY, G., 1966: Infrared scan geometry. – PE&RS (32) 5: 773–778.
- EBNER, H., FRITSCH, D., GILLESSEN, W. & HEIPKE, C., 1987: Integration von Bildzuordnung und Objektrekonstruktion innerhalb der digitalen Photogrammetrie. – BuL, **55** (5): 194–203.
- FAUGERAS, O. (1993): Three-dimensional computer vision: a geometric viewpoint. – 663 p., MIT Press, Cambridge, Mass.
- FISCHER, A., KOLBE, T., LANG, F., CREMERS, A. B., FÖRSTNER, W., PLÜMER, L. & STEINHAGE, V., 1998: Extracting buildings from aerial images using hierarchical aggregation in 2D and 3D. – Computer Vision and Image Understanding, **72** (2): 185–203.
- FÖRSTNER, W., 2000: Moderne Orientierungsverfahren. – PFG, **2000** (3): 163–176.
- FUA, P., 2000: Regularized bundle-adjustment to model heads from image sequences without calibration data. – International Journal of Computer Vision, **38** (2): 153–171.
- GIERKE, M. & SEYFERT, E., 2002: Hochgenaue digitale Geländemodelle für die Belange des Hochwasserschutzes und des Vermessungswesens an der Oder. – PFG, **2002** (5): 351–359.
- VAN GOOL, L., TUYTELAARS, T., FERRARI, V., STRECHA, C., VAN DEN WYNDENGAERD, J. & VERGAUWEN, M., 2002: 3D modeling and registration under wide baseline conditions. – IAPRS, (34) 3A: 3–14.
- GÜLCH, E. & MÜLLER, H., 2001: New application of semi-automatic building acquisition. – In: BALTSAVIAS, E., GRÜN, A. & VAN GOOL, L. (Eds.): Automatic extraction of man-made objects from aerial and space images (III). – 103–114, Balkema Publishers, Lisse.
- GRÜN, A. & VAN GOOL, L. (Eds.): Automatic extraction of man-made objects from aerial and space images (III). – Balkema Publishers, Lisse.
- GRÜN, A. & WANG, X., 2001: News from Cyber-City-Modeler. – In: BALTSAVIAS, E., GRÜN, A. & VAN GOOL, L. (Eds.): Automatic extraction of man-made objects from aerial and space images (III). – 93–101, Balkema Publishers, Lisse.
- HAALA, N., 1996: Gebäuderekonstruktion durch Kombination von Bild- und Höhendaten. – DGK Reihe C, Nr. 460, 67 p.
- HARTLEY, R. & ZISSERMAN, A., 2000: Multiple view geometry in computer vision. – 607 p., Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- HEIPKE, C., 1990: Integration von digitaler Bildzuordnung, Punktbestimmung, Oberflächenrekonstruktion und Orthoprojektion innerhalb der digitalen Photogrammetrie. – DGK Reihe C, Nr. 366, 89 p.
- HEIPKE, C., 2002: Requirements for modern geographic information systems. – IAPRS, **34** (2): 173–183.
- HEIPKE, C. & EDER, K., 1998: Performance of tie-point extraction in automatic aerial triangulation. – OEEPE, Official Publications No. **35**: 125–185.
- HEIPKE, C., JACOBSEN, K. & WEGMANN, H., 2002: Analysis of the results of the OEEPE test integrated sensor orientation. – In: HEIPKE, C., JACOBSEN, K. & WEGMANN, H. (Eds.): Integrated Sensor Orientation. – OEEPE, Official Publication No. **43**.
- HEIPKE, C., PAKZAD, K. & STRAUB, B.-M., 2000: Image analysis for GIS data acquisition. – Photogrammetric Record, **16** (96): 963–985.
- HELAVA, U.V., 1988: Object-space least-squares correlation. – PE&RS (54) 6: 711–714.
- HEMMELEB, M. & ALBERTZ, J., 1998: Photogrammetrische Auswertung elektronenmikroskopischer Bilder – Grundlagen und praktische Anwendungen. – PFG, **1998** (1): 5–16.
- HINZ, S. & BAUMGARTNER, A., 2002: Urban road net extraction integrating internal evaluation models. – IAPRS (34) 3A: 163–168.
- HOFMANN, O., NAVÉ, P. & EBNER, H., 1984: DPS – a digital photogrammetric system for producing digital elevation models and orthophotos by means of linear array scanner imagery. – PE&RS (50) 8: 1135–1142.
- KONECNY, G. & LEHMANN, G., 1984: Photogrammetrie. – de Gruyter, Berlin.
- KRAUS, K., 1997: Eine neue Methode zur Interpolation und Filterung von Daten mit schiefer Fehlerverteilung. – Österreichische Zeitschrift für Vermessung & Geoinformation, H. 1, S. 15–30.
- MAYER, H., 1998: Automatische Objektextraktion aus digitalen Luftbildern. – DGK, Reihe C, Nr. 494, 131 p.
- MAYR, W., 2002: Bemerkungen zum Thema „True orthoimage“. – PFG, **2002** (4): 237–244.
- MERCER, B., 2001: Combining LIDAR and If-SAR: what can we expect? – In: FRITSCH, D. & SPILLER, R. (Eds.): Photogrammetric Week

- '01. – 227–237, Wichmann Verlag, Heidelberg.
- NOVAK, K., 1991: Integration von GPS und digitalen Kameras zur automatischen Vermessung von Verkehrswegen. – ZPF, **59** (4): 112–120.
- PAKZAD, K., 2001: Wissensbasierte Interpretation von Vegetationsflächen aus multitemporalen Fernerkundungsdaten. – Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Vermessungswesen der Universität Hannover Nr. 243 und DGK Reihe C, Nr. 543, 104 p.
- PIECHULLEK, C., 2000: Oberflächenrekonstruktion mit Hilfe einer Mehrbild-Shape-from-Shading-Methode. – DGK, Reihe C, Nr. 518, 98 p.
- POLLEFEYS, M., VAN GOOL, L., VERGAUWEN, M., CORNELIUS, K., VERBIEST, F. & TOPS, J., 2002: Video-to-3D. – IAPRS, **34** (3A): 252–257.
- RINNER, K., 1963: Studien über eine allgemeine, voraussetzungslose Lösung des Folgebildanschlusses. – Österreichische Zeitschrift für Vermessungswesen, Sonderheft (23).
- ROSENFELD, A., 1982: Computer image analysis: an emerging technology in the service of society. – Computer Science Technical Reports TR-1177, MCS-79-23422, 10 p., University of Maryland.
- ROTTENSTEINER, F., 2001: Halbautomatische Gebäudeauswertung durch Integration von hybrider Ausgleichung und 3D Objektmodellierung. – PFG, **2001** (4): 289–301.
- SCHWARZ, K.-P., CHAPMAN, M.E., CANNON, E. & GONG, P., 1993: An integrated INS/GPS approach to the georeferencing of remotely sensed data. – PE&RS, **59** (11): 1667–1674.
- STRAUB, B.-M. & HEIPKE, C., 2001: Automatic extraction of trees for 3D city models from images and height data. – In: BALTSAVIAS, E., GRÜN, A. & VON GOOL, L. (Eds.): Automatic extraction of man-made objects from aerial and space images (III). – 207–277, Balkema Publishers, Lisse.
- THOMPSON, E., 1968: The projective theory of relative orientation. – Photogrammetria, **23**: 67–75.
- VOSSELMAN, G., 2000: Slope based filtering of laser altimetry data. – IAPRS, **33** (3): 935–941.
- WEWEL, F., SCHOLTEN, F., NEUKUM, G. & ALBERTZ, J., 1998: Digitale Luftaufnahme mit der HRSC – ein Schritt in die Zukunft der Photogrammetrie. – PFG, **1998** (6): 337–348.
- WIEDEMANN, C., 2002: Extraktion von Straßennetzen aus optischen Satellitenbildern. – DGK Reihe C, Nr. 551.
- WILLRICH, F. (2002): Quality control and updating of road data by GIS-driven road extraction from imagery. – IAPRS, **34** (4): 761–767.
- WROBEL, B., 1987: Facets stereo vision (FAST Vision) – A new approach to computer stereo vision and to digital photogrammetry. – Interlaken, Proc. „Fast processing of Photogrammetric Data“, 231–258.
- WROBEL, B., 2001: Minimum solutions for orientation. – In: GRÜN, A. & HUANG, T. (Eds.): Calibration and Orientation of Cameras in Computer Vision. – Springer Series in Information Sciences, Vol. **34**: 7–62, Springer Verlag, Berlin.
- Zhang, C., 2003: Updating of cartographic road databases by image analysis. – Dissertation, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH Zürich, Bericht Nr. 79.

Anschrift des Autors:

Prof. Dr.-Ing. CHRISTIAN HEIPKE  
 Institut für Photogrammetrie und GeoInformation (IPI), Universität Hannover  
 Nienburger Straße 1, D-30167 Hannover  
 Tel.: +49-511-762 2482  
 e-mail: heipke@ipi.uni-hannover.de

Manuskript eingereicht: Januar 2003  
 Angenommen: März 2003

## Ansätze zur Übertragung von Theorien der kognitiven Wahrnehmung auf die rechnerische Interpretation von Fernerkundungsszenen

JOCHEN SCHIEWE, Vechta

**Keywords:** remote sensing, classification, cognitive perception, feature extraction, multi-sensor systems, scene interpretation

**Zusammenfassung:** Das übergeordnete Ziel dieses Beitrages besteht in der Weiterentwicklung von Methoden zur rechnerischen Interpretation von Fernerkundungsszenen. Hierbei wird der Ansatz verfolgt, einen Brückenschlag zu den Theorien der kognitiven Wahrnehmungsforschung herzustellen. Anhand ausgewählter Auswerteschritte der Interpretation (Merkmalsverarbeitung und Klassifizierung) werden Theorien der Wahrnehmungspsychologie sowie entsprechende Auswertemethoden der Szeneninterpretation betrachtet. Hierbei wird der Schwerpunkt auf die Auswertung hoch auflösender und multi-sensoraler Daten gelegt. Aus dieser Gegenüberstellung werden offene Forschungsfragen bzw. grundsätzliche Entwicklungsrichtungen für Methoden der Szeneninterpretation abgeleitet.

**Summary:** *Concepts for the transfer of theories of cognitive perception to automatical interpretation of remotely sensed scenes.* The general goal of this contribution is the improvement of methods for the automatical interpretation of remotely sensed scenes. We follow the idea of bridging these methods with theories of cognitive perception. Concentrating on selected interpretation steps (feature processing, classification) theories from cognitive perception and corresponding implemented automatical interpretation methods will be compared. The emphasis will be laid upon processing high resolution and multi-sensoral data. From that comparison research tasks as well as general development directions will be derived.

---

### 1 Einleitung

Digitale Fernerkundungsdaten stellen aufgrund ihrer potenziellen Aktualität, ihres geringen Generalisierungsgrades sowie ihrer großen Flächenleistung eine wichtige Quelle zum Aufbau bzw. der Fortführung von Datenbeständen Geographischer Informations-Systeme (GIS) dar. Eine wirtschaftliche und effiziente Auswertung dieser Daten bedingt einen möglichst vollständigen digitalen und automatischen Datenfluss. In diesem Zusammenhang muss allerdings festgehalten werden, dass sich zuverlässige rechnerische Methoden – insbesondere für die Interpretation räumlich hoch auflösender sowie multisensoraler digitaler Daten – noch in der Entwicklungsphase befinden,

bzw. dass das Potenzial, das Fernerkundungssensoren gegenüber der menschlichen Signal- bzw. Reizerfassung aufweisen (z.B. größere spektrale Bandbreite, spektrale Trennbarkeit, Aufzeichnung von exakten Höhenwerten), in der nachfolgenden Interpretation nicht vollständig ausgenutzt wird.

Von diesen Defiziten ausgehend soll im Folgenden die generelle Zielsetzung verfolgt werden, einen stärkeren Brückenschlag zwischen der rechnerischen Interpretation von Fernerkundungsdaten einerseits und den Theorien der kognitiven Wahrnehmungsforschung andererseits herzustellen. Dieser gedankliche Ansatz begründet sich darin, dass deutliche Analogien zwischen diesen beiden Bereichen evident sind (siehe auch Abschnitt 3), und dass aktuelle Theorien der

Wahrnehmungspsychologie in der jüngeren Vergangenheit kaum Beachtung in der Fernerkundungs-Literatur gefunden haben – zu den wenigen Ausnahmen gehören z.B. FÖRSTNER (2002) oder DONNER (2002). Zur Vertiefung werden in Abschnitt 4 einige Theorien der Wahrnehmungsforschung für die Teilbereiche der Merkmalsextraktion und -verarbeitung sowie der Klassifizierung herausgegriffen. Aus der Gegenüberstellung zu existierenden Methoden der rechnerischen Szeneninterpretation, die bereits einige Aspekte der Wahrnehmungstheorien aufgreifen, werden offene Forschungsfragen sowie künftige Entwicklungsrichtungen skizziert. Der Schwerpunkt bei den hier vorgestellten rechnerischen Methoden liegt auf eigenen Arbeiten, die eine Interpretation der Bild- und Laserscanning-Daten des Multi-Sensor-Systems TopoSys II zum Ziel haben (siehe auch Abschnitt 2).

## 2 Auswertebispiel

Im Folgenden soll der Transfer einiger Ansätze aus der Wahrnehmungsforschung in die rechnerische Szeneninterpretation schwerpunktmäßig an Beispielen eigener Arbeiten demonstriert werden. Der hierfür verwendete **Datensatz** besteht aus Bild- und Höhendaten, die mit dem Flugzeuggestützten Multi-Sensorsystem TopoSys II (jetzt: FALCON; TopoSys, 2003) simultan aufgezeichnet wurden und einen Ausschnitt der Stadt Ravensburg abbilden (siehe Abb. 1).

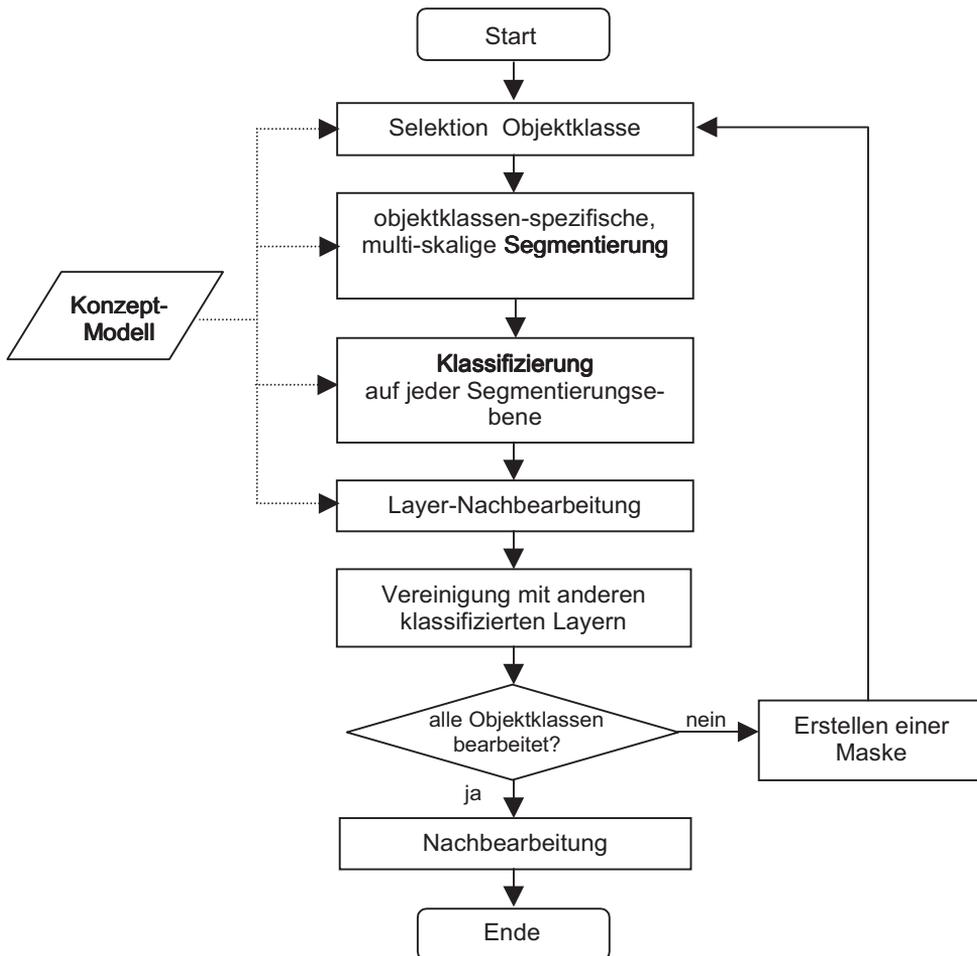
Die multispektralen Bilddaten werden mit einem elektro-optischen Zeilenscanner aufgezeichnet, der bei einer Flughöhe von 1000 m eine Bodenelementgröße von ca. 0.5 m sowie eine Streifenbreite von ca. 350 m ergibt. Bei einer radiometrischen Auflösung von 8 bit decken die vier Kanäle den sichtbaren sowie den nahen Infrarot-Bereich des elektromagnetischen Spektrums ab. Die Höhendaten werden mit einem Laserscanning-System erzeugt, das nach dem Faserbündel-Prinzip operiert. Die Bodenpixelgröße des regelmäßigen Gitters nach der Prozessierung beträgt 0.5 m, die Höhengenaugigkeit wird mit 0.15 m angegeben. Es liegen first und last pulse Lasermessungen, jedoch kein normalisiertes Digitales Oberflächen-Modell vor.

Das Ziel der **Szeneninterpretation** ist die Gliederung in die Objektklassen „Gebäude“, „Straßen“ (inkl. gepflasterter Wege und Flächen), „Grünland“ sowie „Büsche/ Bäume“. Im Folgenden wird der generelle Ablauf der Auswertung im Überblick skizziert (siehe auch Abb. 2), um eine Einordnung der beispielhaften Umsetzungen – die teilweise mit vorhandener, teilweise mit eigener Software erfolgt sind – in die punktuellen, theoretischen Betrachtungen (Abschnitt 4) zu ermöglichen.

Diese Klassen, deren Merkmale und Relationen sowie die zugehörigen Auswertemethoden werden in einem *Konzeptmodell* in Form eines semantischen Netzes beschrieben. Aufgrund des hohen Detaillie-



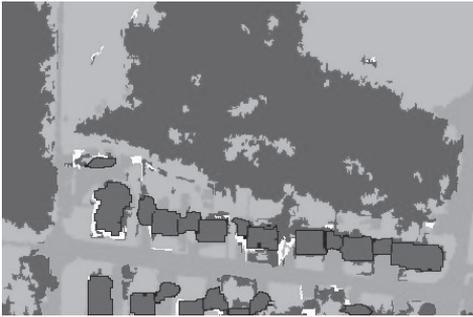
**Abb. 1:** Ausschnitt des multi-sensoralen Datensatzes: Multispektrale Bilddaten (links; Abdeckung ca. 400 m x 300 m) und Perspektivansicht nach Draping des Bildes auf das Digitale Oberflächen-Modell (rechts).



**Abb. 2:** Ablaufdiagramm der vorgestellten hybriden und multi-skaligen Szeneninterpretation.

rungsgrades der Eingangsdaten ist eine *Segmentierung* notwendig, die mit Hilfe des Programmpaketes eCognition (Definiens-Imaging, 2003) mit individuellen Parametern für jede Objektklasse (Gebäude: Höhen-Krümmung, Rest: Normalisierter Differenzen-Vegetations Index, NDVI) sowie in mehreren Generalisierungsgraden erfolgt, sodass eine durch eine hierarchische Struktur miteinander verbundene Segmentpyramide aufgebaut werden kann. Die *Klassifizierung* geschieht in jeder einzelnen Ebene dieser Pyramide durch einen Vergleich der tatsächlichen mit den im Konzeptmodell definierten

Segmentmerkmalen für die jeweils betrachtete Objektklasse. Eine Nachbearbeitung (z.B. die Eliminierung von Inselbereichen) schließt die Bearbeitung jeder Ebene ab. Nach Zusammenführung aller klassifizierten Layer (siehe auch Ergebnis in Abb. 3) muss für die weitere Verwendbarkeit noch eine zusätzliche, teilweise interaktive Nachbearbeitung (z.B. zur Linienglättung) stattfinden. Eine Bewertung der erzielten Ergebnisse ist nicht Gegenstand dieses Beitrages (siehe hierzu SCHIEWE 2003), da der Schwerpunkt hier auf die Auswertestrategie an sich gelegt werden soll.



**Abb. 3:** Ergebnis der Szeneninterpretation (ohne interaktive Nachbearbeitungsschritte; vgl. Abb. 1).

### 3 Wahrnehmungsforschung und Szeneninterpretation

Ziel dieses Abschnittes ist es, ausgehend von der Definition der kognitiven Wahrnehmung die Analogie zwischen dieser sowie der rechnerischen Interpretation von Fernerkundungsszenen darzulegen und somit den in diesem Beitrag verfolgten Brückenschlag zu motivieren.

Die Wahrnehmungsforschung hat bisher noch keine einheitliche und vollständige Theorie entwickeln können; auf Grundlage der unterschiedlichen Ansätze gibt es daher auch eine Reihe von Definitionen zur Wahrnehmung. Nach GUSKI (1989) und ZIMBARDO (1988) wird unter *Wahrnehmung* nicht nur die Aufnahme, sondern auch die stufenweise Verarbeitung von Informationen über Objekte und Ereignisse der Umwelt verstanden. Die Aufnahme (Wahrnehmung im engeren Sinn) wird durch eine Reizung der Sinnesorgane durch physikalische Objekte und Ereignisse hervorgerufen. Im Kontext der visuellen Wahrnehmung werden diese Reize zu zweidimensionalen und geordneten Reiz-Repräsentationen (Perzepten) organisiert und münden über mehrere Zwischenstufen in die Erkennung des Reizgegenstandes (Wahrnehmung im weiteren Sinn).

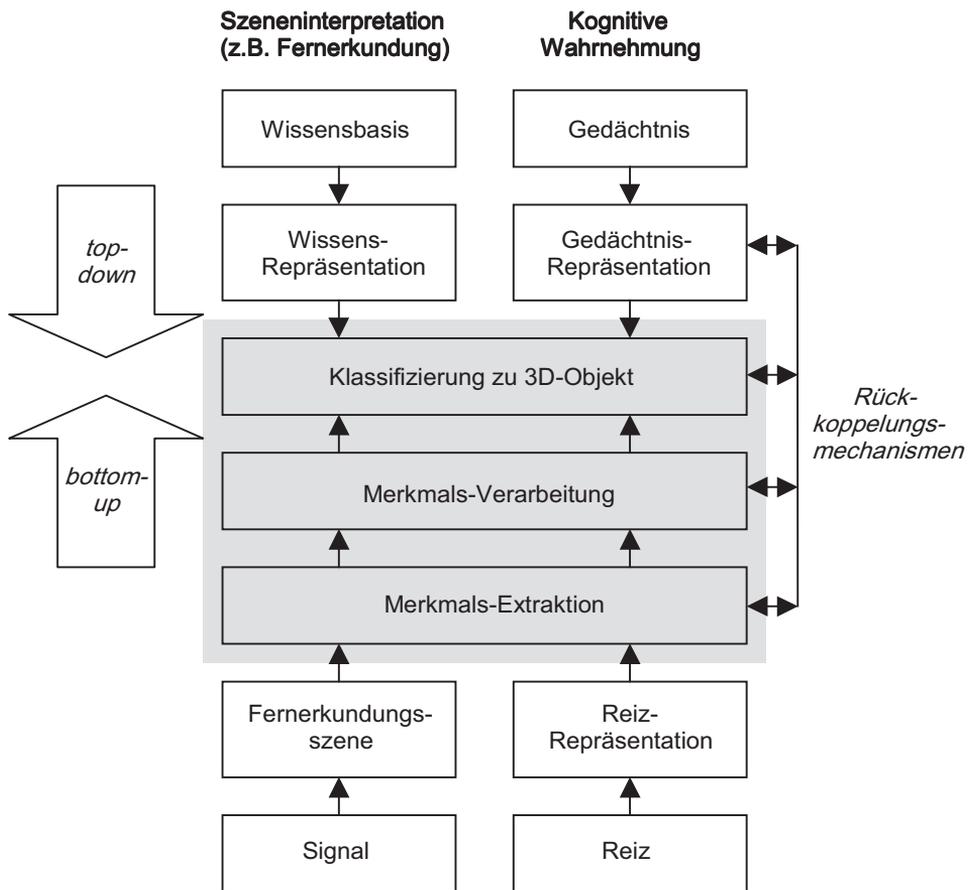
Beim Ansatz *der kognitiven Wahrnehmung* wird zusätzlich davon ausgegangen, dass im Gedächtnis gespeicherte und abgerufene Informationen zum Erkennen des Reizgegenstandes genutzt werden. Es erfolgt ein Wech-

selspiel von Reiz- und Wissensdaten, bei dem je nach Verarbeitungsrichtung von *bottom-up-* bzw. *top-down-Prozessen* gesprochen wird. Im Gegensatz zu dieser hybriden Betrachtungsweise formuliert der in der Fernerkundungs-Literatur oft angeführte, algorithmische Ansatz von MARR (1982) die Objektwahrnehmung lediglich als bottom-up-Prozess. Ferner haben die aktuellen Erkenntnisse aus der Neuroanatomie und -physiologie hohe Anteile von *Rückkopplungsmechanismen* zwischen den einzelnen Verarbeitungsstufen aufgedeckt (GOLDSTEIN 2002), sodass die streng sequenzielle und algorithmische Herangehensweise von MARR auch hier nicht mehr als adäquat angesehen werden kann.

Schon aus der Definition der kognitiven Wahrnehmung wird die Analogie zum Auswertebau der Szeneninterpretation in der Fernerkundung bzw. allgemeiner im Bereich der *Computer Vision (Machine Vision)* evident. Auch hier besteht die Aufgabe in der Rekonstruktion und Interpretation 3-dimensionaler Szenen aus 2-dimensionalen Abbildungen von Signalen (entsprechen den Reizen), wobei Techniken der Bildverarbeitung, Mustererkennung und Künstlichen Intelligenz kombiniert werden (HARALICK & SHAPIRO 1992) und hierfür datengetriebene (bottom-up) sowie modellgetriebene (top-down) Strategien bekannt sind. Zur Veranschaulichung dieser Analogien stellt Abb. 4 den generellen Auswerteprozess der kognitiven Wahrnehmung dem der Interpretation von Fernerkundungsdaten gegenüber.

### 4 Transfer von Ansätzen

Ziel dieses Abschnittes soll es sein, ausgewählte Ansätze der Wahrnehmungsforschung vorzustellen, hiervon einzelne Transfers in den Bereich der Szeneninterpretation zu präsentieren und aus erkannten Defiziten offene Forschungsfragen bzw. potenzielle Entwicklungstendenzen abzuleiten. Während in diesem Kontext in der Vergangenheit ein Schwerpunkt auf dem Aspekt der *Wissensrepräsentation* durch *neuronale Netze*, die die physiologischen Funktionen des menschlichen Gehirns kopieren sollen, ge-



**Abb. 4:** Analogie der generellen Abläufe zur Interpretation von Fernerkundungsdaten sowie der kognitiven Wahrnehmung.

legt worden sind, sollen im Folgenden die in Abb. 4 grau unterlegten Prozesse der Extraktion und Verarbeitung von Merkmalen (Abschnitt 4.1) sowie der Klassifizierung (Abschnitt 4.2) im Mittelpunkt stehen.

#### 4.1 Extraktion und Verarbeitung von Merkmalen

Eine Szeneninterpretation erfolgt i.d.R. nicht anhand der aufgezeichneten Reize oder Signalwerte selbst, sondern über hieraus abgeleitete *Merkmale (features)*. Die Extraktion und Weiterverarbeitung dieser Attribute stehen im Mittelpunkt dieses Teilabschnittes.

#### 4.1.1 Ansätze in der Wahrnehmungsforschung

Setzt man einen stufenweisen Ablauf der menschlichen Objektwahrnehmung voraus (vgl. z.B. GOLDSTEIN 2002), so werden nach MARR oder TREISMAN in einem ersten Schritt – der *präattentiven Verarbeitung* – aus den erhaltenen Reizen in sehr kurzer Zeit *Elementarmerkmale* abgeleitet, die eine Trennung in Texturbereiche ermöglichen können. Zu diesen Basismerkmalen, die bei JULESZ auch als *Textone* bezeichnet werden, gehören

- Orientierungen (z.B. Linieneigungen),
- Linienbögen und -endpunkte,

- kleine Punkte,
- geschlossene Flächen unterschiedlicher Größe und Form (Kleckse, Kreise, etc.),
- spektrale Eigenschaften (Farbe, Helligkeit, Kontrast) oder
- Bewegungen.

Die Regeln bzw. Heuristiken, nach denen insbesondere die räumliche Zusammenfassung zu (Textur-)Bereichen erfolgt, werden z.B. in der *Gestalttheorie* nach WERTHEIMER u.a. beschrieben. Diese Theorie konstatiert zum Einen, dass sich die genannten elementaren Merkmale gegenseitig beeinflussen (Grundregel: „Das Ganze ist mehr als die Summe seiner Teile“). Zum Anderen benennt sie die Faktoren, die zu den Bereichs-Gruppierungen führen. Hierzu gehören insbesondere der *Faktor der Ähnlichkeit* (z.B. von Farbton, Orientierung oder Größe), aber auch der der Nähe (bzw. Nachbarschaft), der Einfachheit (Erzeugung möglichst einfacher Strukturen), der Linienfortsetzung (z.B. aus Punkten gedachte, sanft geschwungene Linien), des gemeinsamen Schicksals (z.B. der gleichen Bewegungsrichtung) oder der Vertrautheit.

Alternativ zu den Textonen sieht die Theorie von BIEDERMAN (1987) elementare Teilkörper als Grundlage des Wahrnehmungsprozesses an, die auch als geometrische Ionen (*Geone*) bezeichnet werden und als Komponenten dreidimensionaler Objekte aufzufassen sind.

Die in diesem ersten Wahrnehmungsschritt erhaltenen Basismerkmale, die noch unabhängig und nebeneinander in unterschiedlichen neuronalen Kanälen bestehen, müssen nun in einer zweiten – weniger gut erforschten – Stufe (der so genannten *gerichtete Aufmerksamkeit*) wieder miteinander verknüpft werden. Nach TREISMANS Merkmalsintegrationstheorie besteht eine zentrale Aufgabe hierbei in der Verbindung zwischen den attributiven und den Orts-Informationen, wobei verstärkt vorhandenes Wissen eingesetzt wird (top-down-Prozess).

Unabhängig von der Art der Merkmale muss einschränkend festgehalten werden, dass von diesen aufgrund der begrenzten Verarbeitungskapazität und -zeit der

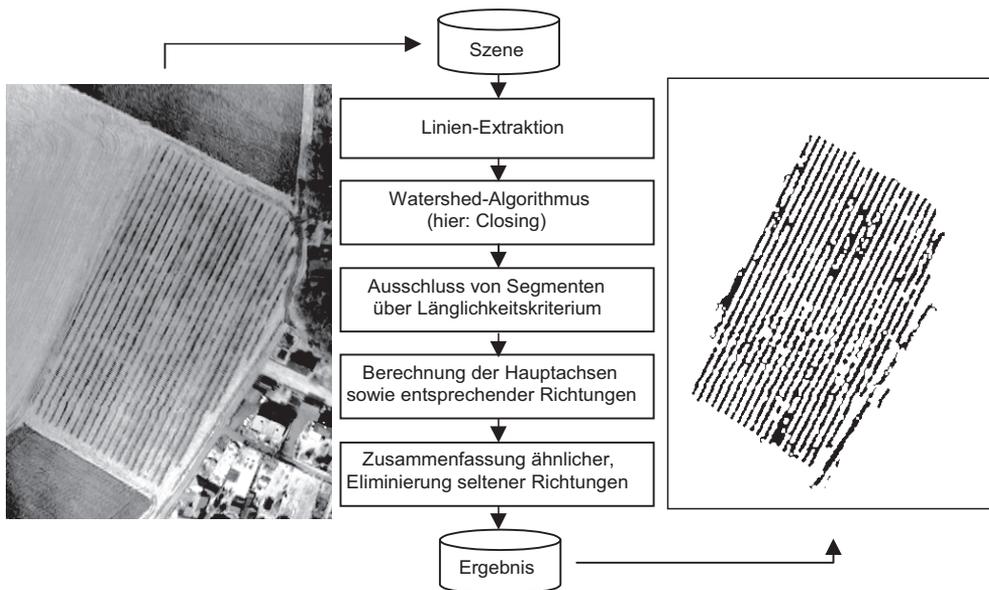
menschlichen Wahrnehmung tatsächlich nur ein kleiner Teil weiterverarbeitet wird. So stellt z.B. ALLEN (1982) fest, dass i.d.R. nur zwei Informationsquellen in den Prozess der gerichteten Aufmerksamkeit einfließen (z.B. die nahezu rechtwinklige Fläche sowie der Helligkeitsunterschied zur Umgebung bei der Detektion von Häusern aus Luftbildern). Auch diese *Selektion* basiert auf heuristischen Entscheidungen sowie vorhandenen Gedächtnisinformationen.

Ein weiteres Phänomen im Rahmen der Merkmals-Verarbeitung stellt die menschliche Fähigkeit zur *Abstraktion* dar, d.h., dass auch ohne die Vollständigkeit und Korrektheit aller Merkmale ein Objekt richtig erkannt werden kann. Dies wird z.B. im Fall der dreidimensionalen Objekt-Rekonstruktion auf Basis von Geonen deutlich: So kann z.B. ein Gebäude in einem Luftbild erkannt werden, obwohl aufgrund von Verdeckungen, Abschattungen oder Aufnahme Fehlern nicht jedes Gebäudebestandteil identifizierbar ist.

#### 4.1.2 Rechnerische Methoden

Im Kontext der rechnerischen Szeneninterpretation erfolgt die Extraktion und Verarbeitung von Merkmalen durch die Anwendung spezieller Funktionen auf die originären Daten bzw. auf bereits bestimmte Merkmale. Im Folgenden sollen sowohl die generellen Strategien zur Merkmalsverarbeitung, als auch Art und Umfang der extrahierten Merkmale betrachtet werden.

Hinsichtlich der generellen **Strategien** zur Merkmalsverarbeitung können punkt- bzw. pixel-, linien- oder Regionen-basierte Methoden unterschieden werden. So sind *linienhafte Auswertungen* in der Lage, einen Teil der beschriebenen *Textone* zu extrahieren: Insbesondere Kontrastunterschiede in den Bilddaten werden zur Definition von Kanten genutzt, die weiterhin – nach dem Gestaltfaktor der Linienfortsetzung – auf Basis von Konturverfolgungs-Algorithmen zu Linien zusammengesetzt werden können. Insbesondere durch die Verbesserung der räumlichen Auflösungen der aktuellen Fernerkundungssensoren steigt die Bedeutung *Re-*



**Abb. 5:** Einfacher Algorithmus (Mitte) zur Extraktion von flächenhaften Mustern (rechts) aus gegebenen Bilddaten (naher Infrarot-Kanal, Ausschnitt ca. 160 m × 420 m; links).

*gionen-basierter Auswertungen* signifikant an, da nahezu alle Objekte als flächenhafte Elemente modelliert und Signal- oder Merkmals-Heterogenitäten innerhalb einzelner Entitäten beachtet werden müssen. Bei diesen *Segmentierungen* werden i.d.R. die Gestaltfaktoren der Ähnlichkeit und Nähe (bzw. Nachbarschaft) für spektrale Ausprägungen sowie Formeigenschaften (z.B. Kompaktheit oder Länglichkeit) herangezogen, um homogene Regionen zu bilden.

Auch die in Abschnitt 2 skizzierte Auswertung ist ein Beispiel für eine Regionenbasierte Strategie. Hier ist es durch die Variation der Skalierungsparameter bzw. die Bildung von Segmentpyramiden auch möglich, Merkmale in verschiedenen Generalisierungsstufen abzuleiten. Zur Reduktion des Verarbeitungsaufwandes findet ferner auch eine objektklassen-spezifische *Selektion* der Merkmale statt, indem im Konzeptmodell nach sinn-logischen Gesichtspunkten definiert wird, welche Merkmale signifikant für die Detektion jeder einzelnen Objektklasse sind.

Hinsichtlich der **Art und des Umfangs der zu verarbeitenden Merkmale** stellt sich bei

unserer Beispiel-Auswertung heraus, dass aufgrund der Variabilität der vorhandenen Objekte die üblichen Formeigenschaften des Grundrisses (Kompaktheit, Länglichkeit) einen geringen Aussagewert besitzen. Neben den spektralen Eigenschaften (hier insbesondere dem NDVI) werden daher verstärkt aus den Laserscanning-Daten abgeleitete Höhen-Informationen in den Auswerteprozess einbezogen: So weisen sehr hohe Gradienten bzw. Krümmungen bei der gegebenen räumlichen Auflösung sehr sicher auf Gebäudewände hin. Dies ist ein erstes Beispiel für die Erweiterung des Merkmalsraumes, die durch die simultane, multi-sensorale Datenerfassung ermöglicht wird.

Ein weiteres Beispiel betrifft die Berücksichtigung der *Orientierung* von schmalen Elementen bzw. von linearen Mustern. So wird aus Abb. 5 (links) deutlich, dass für die vorhandene Reihenfeldaufbaufläche das konventionelle Erkennungsmerkmal des mittleren NDVI aufgrund der internen, schmalen vegetationsfreien Flächen ungeeignet ist. Für eine Detektion und Beschreibung dieser Regionen reichen eine Texturfilterung oder eine Kantenextraktion allein

nicht aus, weil so noch keine Gruppierung der zwar schmalen, aufgrund der hohen geometrischen Auflösung aber flächenhaften Elemente erfolgt. Auch hier ist also eine Segmentierung notwendig, die im vorgestellten, sehr einfachen Algorithmus (vgl. Abb. 5, Mitte) aber nicht auf ein region growing-Verfahren aufbaut, da ein solches aufgrund der Schmalheit homogene Flächen nur schwer identifizieren kann. Stattdessen wird eine Methode verwendet, die nach der Detektion von Linien (statt diffuser Kanten) einen einfachen Watershed-Algorithmus durchführt und über die Parameter Länglichkeit und Hauptrichtung die parallelen Muster des Reihenfeldanbaus extrahiert (Abb. 5, rechts).

In den Kontext der BIEDERMAN'schen *Geonen*-Theorie als Grundlage einer alternativen Merkmalsart sind z.B. die Arbeiten zur Gebäude-Extraktion aus Luftbildern im Rahmen des DFG-Bündelprojektes „Semantische Modellierung“ einzuordnen (siehe zur Übersicht FISCHER et al. 1998). KOLBE (2000) hat hierbei nicht nur eine bestmögliche Zuordnung der extrahierten Bildmerkmale (d.h. der Ecken und Kanten, die zu Gebäude-Komponenten verbunden werden) zu einer Reihe von Gebäudehypothesen (bzw. unterschiedlichen Gebäudetypen) durchgeführt, sondern auch explizit die Unbeobachtbarkeit und Unschärfen der Merkmale und Relationen berücksichtigt und somit die Fähigkeit zur *Abstraktion* abgebildet.

#### 4.1.3 Forschungsfragen

Bezüglich der **Strategie** zur Merkmalsextraktion und -verarbeitung ist festzustellen, dass konventionelle Auswerteverfahren der Szeneninterpretation entweder punkt-, linien- oder Regionen-basiert vorgehen. Eine *hybride Strategie* im Hinblick auf die Merkmalsträger, so wie sie der menschliche Auswerter in Abhängigkeit von der betrachteten Objektklasse und dem aktuellen Generalisierungsgrad durchführt, findet dagegen nur sehr selten statt – ein Beispiel zur simultanen Extraktion polymorpher Merkmale gibt FUCHS (1998). Ferner wurden auch

Kombinationen von Segmentierungsverfahren basierend auf Kantendetektionen sowie Regionenwachstum entwickelt (siehe z.B. PAVLIDIS & LIOW 1990, GAMBA et al. 1997, BHALERO & WILSON 2001), allerdings wurde deren Eignung kaum, i.d.R. aber gar nicht mit Fernerkundungsdaten getestet, die bekanntermaßen einen komplexen Anwendungsfall darstellen (siehe hierzu auch FUCHS 1998).

Aufgrund der Forderung nach Anwendung hybrider Verfahren sowie des erweiterten Merkmalsumfangs (siehe unten) erhöht sich die Komplexität der Auswertung. In diesem Zusammenhang ist daher auch eine stärkere Auseinandersetzung mit *heuristischen* statt ausschließlich mit algorithmischen Auswerteanätzen anzuregen (siehe auch Abschnitt 4.2.3). Im Kontext der Merkmalsextraktion bedeutet dies, dass Wissensrepräsentationen wie *heuristische Entscheidungsbäume*, *heuristische Entscheidungstabellen* oder *Diagnose-Scores* verwendet werden können, um die Komplexität des sogenannten Problemraumes (bestehend aus Merkmalen, Objektklassen und ihren Relationen) zu reduzieren. Die genannten Darstellungsformen können eine Auswahl sowie eine Reihen- oder Rangfolge der Merkmale im Hinblick auf die abzuleitenden Objektklassen definieren und besitzen die Eigenschaft, dass Merkmale auch unsicher oder sogar unbekannt sein dürfen.

Hinsichtlich der **Art und des Umfangs der Merkmale** besteht die statistisch begründete Annahme, dass mit der Anzahl der zur Verfügung stehenden Informationen auch die Wahrscheinlichkeit eines richtigen Klassifizierungsergebnisses ansteigt. Gerade hier ist ein großes Entwicklungspotenzial erkennbar, da konventionelle Auswerteverfahren i.d.R. nur einen kleinen Ausschnitt der Texturen (i.d.R. Farbe und Textur) aus dem tatsächlich vorhandenen, mit Multi-Sensor-Systemen sogar noch erweiterten Merkmalsumfang verwenden. Unter Berücksichtigung der Kosten einer erhöhten Komplexität sollte daher der Formalisierung weiterer Merkmale sowie der Untersuchung ihres Mehrwertes in Zukunft eine bedeutende Rolle zukommen.

Ein Beispiel hierfür wurde in Abschnitt 4.1.2 mit der Beschreibung der *Orientierung* von schmalen Elementen bzw. von linearen Mustern gegeben. Das hier verwendete, sehr einfache Verfahren benötigt sicherlich noch einige Verfeinerungen. Zu den Merkmalen, die ebenfalls eine intensivere Betrachtung verdienen, gehören auch die *Schattenbereiche*, die durch die Integration der vorhandenen, hoch genauen Höhendaten auch zuverlässig als solche prädiert (siehe z.B. HARTL & CHENG 1995; für SPOT-Daten) und somit als nicht eigenständige Regionen interpretiert werden können. Ferner sind verstärkt *semantische Nachbarschaften* zu formalisieren, aus deren Definition einige Klassenzuweisungen angenommen oder verworfen werden können. Einen Versuch in diese Richtung unternahm ZHAN et al. (2002), die aus extrahierten Segmenten strukturelle Beziehungen ableiten und mit gegebenem Vorwissen städtische Grob-Landnutzungsklassen definieren.

#### 4.2 Klassifizierung

Die *Klassifizierung* im Kontext der Szeneninterpretation verfolgt die Aufgabe, den Daten oder Merkmalsträgern (d.h. Punkten, Linien oder Regionen) die Instanz aus einer vordefinierten Menge drei-dimensionaler Objekte zuzuweisen. Ausgangspunkt dieses Prozesses ist das Aufstellen einer Hypothese zur Zugehörigkeit des Merkmalsträgers zu einer bestimmten Objektklasse, wobei entweder zwischen zwei Alternativen (z.B.: Objekt ist ein Haus oder nicht) oder mehreren Alternativen (z.B.: Objekt ist entweder Haus, See, Wald oder Straße) entschieden werden muss. Die Entscheidungsstrategien zur Verifizierung oder Falsifizierung dieser Hypothesen stehen im Mittelpunkt dieses Teilabschnittes.

##### 4.2.1 Ansätze in der Wahrnehmungsforschung

Der Prozess der Entscheidungsfindung im Kontext einer Hypothesen-Bewertung lässt sich in mehrere **Phasen** unterteilen: Nach der Erfassung von Ausprägungen diverser

Merkmale (siehe Abschnitt 4.1.1) erfolgt deren Bewertung und Gewichtung, um schließlich zu einer Berechnung eines gesamten Zugehörigkeitsmaßes zu gelangen. In Abhängigkeit von den gegebenen Voraussetzungen sowie den angewandten Methoden werden in der Psychologie zwei Richtungen zur Untersuchung dieses Prozesses unterschieden – die *präskriptive* sowie die *deskriptive Entscheidungstheorie*.

Die **präskriptive (oder normative) Entscheidungstheorie** setzt eine *rationale* Entscheidungsfindung voraus. Dies bedeutet, dass alle notwendigen Informationen, ein eindeutig formuliertes (Objekt-)Modell sowie zuverlässige Lösungsalgorithmen vorhanden sein müssen. Dabei wird durchaus berücksichtigt, dass es Faktoren gibt, die sich einer vollständigen Beherrschung durch die Entscheidungsträger entziehen (sogenannte *Umwelteinflüsse*), sodass es je nach Kenntnisstand Entscheidungen „unter Sicherheit“ oder „unter Risiko“ gibt. Für die Bearbeitung der Aufgaben in den oben beschriebenen Phasen existiert eine Reihe von Vorgehensweisen (siehe z.B. POSCHMANN 1999). Hierzu gehören z.B. das Scoring-Verfahren (auch: Nutzwertanalyse), die multi-attributive Werttheorie (MAVT) für Entscheidungen „unter Sicherheit“ sowie die multi-attributive Nutzentheorie (MAUT) für Entscheidungen „unter Risiko“. Die entsprechenden axiomatischen Vorgehensweisen des präskriptiven Ansatzes sind offensichtlich gut durch algorithmische Ansätze der Informationsverarbeitung abzubilden.

Die **deskriptive (oder empirische) Entscheidungstheorie** geht dagegen davon aus, dass aufgrund der begrenzten kognitiven und zeitlichen Kapazitäten der menschlichen Wahrnehmung vollständig rationale Entscheidungen nicht möglich sind und daher das *tatsächliche* Verhalten analysiert werden sollte (daher auch: Ansatz des „natürlichen Treffens von Entscheidungen“). In einigen Disziplinen findet bereits eine intensive Auseinandersetzung mit diesem Ansatz statt – so z.B. in den Wirtschaftswissenschaften, wo die Nobelpreisträger im Jahr 2002, KAHNEMANN und SMITH, das irrationale bzw.

kalkulierte Interesse einzelner Individuen im Gegensatz zu den normativen Wirtschaftstheorien untersuchen.

Auch im Kontext der Szeneninterpretation werden die rationalen Defizite, die die deskriptive Theorie begründen, in allen genannten Phasen der Entscheidungsfindung deutlich. So wurde schon in Abschnitt 4.1.1 darauf hingewiesen, dass der Mensch tatsächlich nur eine Teilmenge der vorhandenen Merkmalsausprägungen erfasst und weiter verarbeitet. Ferner weisen z.B. WIKKENS & HOLLANDS (2000) darauf hin, dass *Negativ-Merkmale* (z.B.: „dieses Objekt ist kein Haus“) bei der menschlichen Entscheidungsfindung kaum eine Rolle spielen, und dass menschliche Bewertungen oft nicht mit objektiven Wahrscheinlichkeiten übereinstimmen (z.B. die Wahrscheinlichkeit seltener Ereignisse überschätzt wird). Auch der Aufwand für eine Gewichtung nach Kriterien sowie eine nachvollziehbare Bestimmung von gesamten Zugehörigkeitsmaßen ist selten feststellbar. Stattdessen genügen oft hinreichend gute Ausprägungen zur Entscheidungsfindung (*satisfying principle*), oder es werden Wahlalternativen aufgrund nicht zufriedenstellender Ausprägungen in einem Eliminationsverfahren frühzeitig ausgeschlossen (*Eliminationsschlüssel*).

Dass trotz der begrenzten kognitiven und zeitlichen Kapazitäten der menschlichen Wahrnehmung i.d.R. dennoch zufriedenstellende Klassifizierungsergebnisse erzielt werden, lässt sich nicht zuletzt darauf zurückführen, dass der Mensch ein offenes Informationssystem praktiziert, in dem Entscheidungen nicht in einer sequenziellen Abfolge sondern in Schleifen getroffen werden, d.h., dass diverse **Rückkoppelungsmechanismen** mit den Gedächtnisrepräsentationen vollzogen und Entscheidungen somit optimiert werden können (siehe auch Abschnitt 3 bzw. Abb. 4).

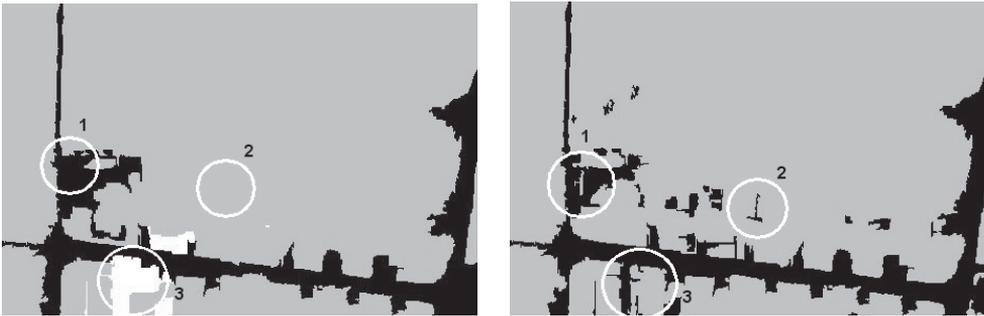
#### 4.2.2 Rechnerische Methoden

Von den in Abschnitt 4.2.1 beschriebenen **Phasen** der Entscheidungsfindung wurde die *Erfassung* und *Verarbeitung* von Merkmalen im Rahmen einer rechnerischen Szenenin-

terpretation bereits in Abschnitt 4.1.2 diskutiert. Für die *Bewertung* der Merkmale existiert eine Reihe von wohl definierten Methoden, die z.B. auf der Wahrscheinlichkeits- oder der Fuzzy Logic-Theorie beruhen. Hierauf aufbauend sind auch *Gewichtungen* der einzelnen Merkmale (z.B. über bedingte Wahrscheinlichkeiten mit dem Bayes'schen Klassifikator oder über Schwellwerte) sowie die Zusammenfassung zu einem gesamten *Zugehörigkeitsmaß* möglich. Diesen Methoden liegt grundsätzlich die Idee des vollständig rationalen, d.h. **präskriptiven Ansatzes** zugrunde. Entscheidungen „unter Risiko“, wobei Umwelteinflüsse hier Limitierungen oder Aufzeichnungsfehler der Sensoren darstellen, können prinzipiell auch mit (bedingten) Wahrscheinlichkeiten oder Regeln der Fuzzy Logic modelliert werden.

Aber auch im Zusammenhang mit der rechnerischen Szeneninterpretation ist eine Auseinandersetzung mit dem **deskriptiven Ansatz** der Entscheidungstheorie angebracht, da analog zur menschlichen Wahrnehmung ebenfalls häufig Bedingungen der Rationalität (siehe Abschnitt 4.2.1) verletzt werden. Neben der Tatsache, dass nicht alle zur Entscheidungsfindung notwendigen Merkmalsausprägungen tatsächlich vorhanden sind, sind auch die Voraussetzungen zur Anwendung der Lösungsalgorithmen für die folgenden Phasen nicht immer eindeutig gegeben. So ist z.B. die Bewertung auf Basis von Wahrscheinlichkeiten oft schwierig bzw. streng genommen gar nicht erlaubt, weil z.B. keine normalverteilten Zufallsgrößen vorliegen. Auch die Bestimmung von Schwellwerten erfolgt i.d.R. subjektiv und ist kaum auf andere Anwendungsfälle übertragbar.

Ein pragmatischer Ansatz zur Reduktion des Suchraumes sowie zur Vermeidung von interaktiv festzulegenden Schwellwerten im Sinne eines deskriptiven bzw. empirischen Vorgehens ist die Nutzung des Vorwissens aus Datenbeständen vorhandener Geographischer Informations-Systeme (GIS). EHLERS et al. (1989) bzw. EHLERS (2000) stellen ein entsprechendes regelbasiertes Konzept vor, das einerseits das Vorwissen der GIS-



**Abb. 6:** Mehrwert einer Straßen-Klassifizierung durch Verwendung *aller* Segment-Ebenen (rechts) im Gegensatz zu *einer* Ebene (links; Straßen in schwarz; basierend auf den Daten aus Abb. 1): Bessere Identifizierung von Trennflächen (1) und schmalen Wegen (2) sowie geringere Anzahl nicht klassifizierter Flächen (in weiß; 3).

Daten, andererseits die Aktualität der Fernerkundungsdaten für die Objektextraktion nutzt. BALTSAVIAS & HAHN (2000) geben einen umfassenden Überblick über entsprechende Implementierungsbeispiele. Es sollte aber nicht übersehen werden, dass bei dieser Vorgehensweise Komplexitäts- und Übertragbarkeitsprobleme einer operationellen Verwendung im Wege stehen. So stellt KONECNY (1995) fest, dass der GIS-Einsatz bei der Automation bestehender Aufgabe nur marginale Vorteile erbringt und signifikante Kosteneinsparungen nur bei längerfristiger Anwendung erzielbar sind. Einen alternativen Ansatz zur Vermeidung der Formalisierung von Schwellwerten beschreibt HELLWICH (1999), der die Schätzung von Modellparametern im Rahmen einer Bildinterpretation durch ein Simulated Annealing durchführt.

**Rückkoppelungsmechanismen** zwischen den einzelnen Klassifizierungsphasen sowie vorhandenen Gedächtnis-Repräsentationen wurden bisher kaum in rechnerischen Verfahren implementiert. Ein Realisierungsbeispiel hierfür demonstriert die in Abschnitt 2 beschriebene Auswertung, die im Gegensatz zu konventionellen Strategien eine Klassifizierung auf Basis *mehrerer* Segmentierungsebenen durchführt, indem für *jede* Segmentierungsebene ein Vergleich der Szenenmerkmale mit den im Konzeptmodell definierten Objektmerkmalen stattfindet, bevor die nächste Ebene bearbeitet wird. Hiermit wird die Tatsache berücksich-

tigt, dass sich die Objekte auch innerhalb einer Klasse bezüglich ihrer Eigenschaften (z.B. Größe, Helligkeiten) unterscheiden und somit auch am besten in unterschiedlichen Ebenen abgebildet werden können (objekt-spezifische statt objektklassen-spezifische Vorgehensweise).

Das Problem dieser multi-skaligen Vorgehensweise besteht offensichtlich darin, dass kleinere Segmente, die z.B. als Einzelhäuser oder -bäume klassifiziert worden sind, in einem größeren Segmentierungs-Level anhand der dortigen Merkmale zu anwendungsspezifisch unerwünschten, größeren Regionen (z.B. einem Gebäudeblock oder Waldgebiet) aggregiert werden könnten. Um dies zu verhindern, muss in einer feineren Klassifizierungs-Ebene der Zwischenraum zwischen Objekten bereits einer Klasse zugeordnet oder festgelegt werden, dass an diesem Ort bestimmte Objekte niemals auftreten dürfen (*Negativ-Klassifizierung*). Auf einem größeren Level erfolgt eine Klassifizierung für ein Segment nur dann, wenn *alle* Subsegmente der aktuell betrachteten Klasse angehören (Aggregation) oder bisher nicht (positiv oder negativ) klassifiziert werden konnten (Neuzuweisung). Abb. 6 demonstriert den Mehrwert dieser Vorgehensweise unter Berücksichtigung *aller* Ebenen: So werden beim konventionellen Verfahren mit nur einer Ebene durch vorherige Aggregationen solche kleinen Segmente nicht berücksichtigt, die entweder den positiven Merkmalsanforderungen entsprechen wür-

den (im Beispiel: schmale Wege) oder die eine negative Klassifizierung bedeuten würden (im Beispiel: Trennflächen zwischen Wegen oder Straßen).

#### 4.2.3 Forschungsfragen

Die Ausführungen in den vorangegangenen Abschnitten haben das Dilemma der rechnerischen Szeneninterpretation verdeutlicht: Im Kontext des präskriptiven Ansatzes der Entscheidungstheorie sind geeignete Verfahren vorhanden, die im Gegensatz zum menschlichen Vorgehen eine objektive Bewertung, Gewichtung und Bestimmung des Zugehörigkeitsmaßes erlauben. Prinzipiell besteht ferner auch die Möglichkeit, den Merkmalsumfang mit modernen Sensoren weiter zu steigern, um somit das Entscheidungsrisiko zu minimieren bzw. die Ergebnisqualität zu steigern (siehe auch Abschnitt 4.1.2).

Auf der anderen Seite ist jedoch der Aufwand für eine Formalisierung der objekt-spezifischen Modellparameter oder auch für eine Integration von GIS-Daten i.d.R. nicht vertretbar, weil aufgrund der Variabilität der Merkmale eine Übertragbarkeit selten gewährleistet ist (siehe auch BALTSAVIAS & HAHN 2000). Demgegenüber bedeutet die Verfolgung des deskriptiven Ansatzes zwar eine Einsparung von Kapazitäten, bietet aber auch nur sub-optimale Klassifizierungsergebnisse.

Die Folgerung aus diesem Dilemma – insbesondere der Tatsache, dass praktikable Lösungen für das Formalisierungs-Problem nicht in Sicht sind – besteht unserer Meinung darin, basierend auf heuristischen Wissensrepräsentationen (siehe Abschnitt 4.1.3) verstärkt *heuristische Auswerte- bzw. Suchverfahren* anzuwenden (z.B. Greedy-, A\*-, WA\*-Suche oder Bergsteigen-Verfahren). Die erzielten Zwischenergebnisse können dann mit einer objektiven Bewertung ausgewählter Merkmale sowie mit *Rückkoppelungsmechanismen* optimiert werden.

## 5 Zusammenfassung

Die Motivation dieses Beitrages bestand im unbefriedigenden Status der Methoden zur rechnerischen Interpretation von Fernerkundungsszenen. Hierzu wurde der Ansatz verfolgt, einen stärkeren Brückenschlag zu den Theorien der kognitiven Wahrnehmungsforschung herzustellen. Diese Idee begründet sich einerseits in den offensichtlichen Analogien zwischen der kognitiven Wahrnehmung und der rechnerischen Szeneninterpretation sowie andererseits in der Tatsache, dass dieser Ansatz in der jüngeren Vergangenheit in der Fernerkundungs-Literatur vernachlässigt wurde.

Anhand ausgewählter Auswerteschritte der Interpretation – der Extraktion und Verarbeitung von Merkmalen sowie der Klassifizierung – wurden einigen Theorien der Wahrnehmungspsychologie entsprechende Auswertemethoden der Szeneninterpretation gegenübergestellt. Der Schwerpunkt wurde hierbei auf die Beschreibung eigener Arbeiten zur Auswertung von simultan aufgezeichneten Bild- und Laserscanning-Daten des Multi-Sensorsystems TopoSys II gelegt. Aus dieser Gegenüberstellung lassen sich zwei grundsätzliche Entwicklungsrichtungen für Methoden der rechnerischen Szeneninterpretation ableiten:

- Eine Richtung verfolgt das Ziel, zur Verbesserung der Interpretations-Zuverlässigkeit den *Merkmalsumfang* zu steigern (hier wurden entsprechende Beispiele zu den Merkmalen Orientierung und Höhen-Gradient aufgezeigt) sowie Objekt-klassen-spezifische *hybride Auswertestrategien* anzuwenden (hier wurde ein Beispiel zur linien-basierten Segmentierung für schmale Feldmuster vorgestellt). Bei dieser Entwicklungsrichtung stehen dem Vorteil einer angepassten Merkmalsverarbeitung mit einer streng objektiven Bewertung die wachsende Komplexität und der – aufgrund der fehlenden Übertragbarkeit – selten vertretbare Formalisierungs-Aufwand als Nachteile gegenüber.
- Die andere – in der Szeneninterpretation bisher selten umgesetzte – Entwicklungsrichtung versucht die tatsächliche, *heuris-*

tische bzw. deskriptive Herangehensweise des Menschen abzubilden. Diese beinhaltet auch die Möglichkeit von *Rückkopplungsmechanismen* zwischen den einzelnen Klassifizierungsphasen und vorhandenen Wissens-Repräsentationen, deren Mehrwert am Beispiel einer Auswertung in mehreren Generalisierungsebenen (statt in nur einem Level) demonstriert wurde. Grundsätzlich stehen sich bei dieser Vorgehensweise der Nachteil von nur sub-optimalen Interpretationsergebnissen und der Vorteil eines angemessenen zeitlichen und damit auch wirtschaftlichen Aufwandes gegenüber.

Um die jeweiligen Vorteile miteinander zu kombinieren, ist eine Integration dieser Entwicklungsrichtungen anzustreben: Ausgehend von der Tatsache, dass eine praktikable Lösung für das Formalisierungs-Problem nicht in Sicht ist, kann ein Kompromiss darin bestehen, verstärkt heuristische Ansätze zu entwickeln und diese mit einer objektiven Bewertung ausgewählter Merkmale sowie mit Rückkopplungsmechanismen zu optimieren. Diese Integrations-Idee und insbesondere der Verzicht auf vollständig algorithmische Ansätze bedeutet zweifelsohne einen gewissen Paradigmenwechsel, der aufgrund der Defizite der rechnerischen Interpretation von Fernerkundungsszenen aber auch notwendig erscheint und den es zu diskutieren gilt.

### Danksagung

Dank gilt der Firma TopoSys für die Bereitstellung des multi-sensoralen Datensatzes.

### Literatur

- ALLEN, R. B., 1982: Cognitive factors in human interaction with computers. – In: BADRE, A. & SHNEIDERMAN, B. (Hrsg.): *Directions in Human/Computer Interaction*. – Ablex Publishing Corporation, Norwood (USA).
- BALTSAVIAS, E. & HAHN, M., 2000: Integrating spatial information and image analysis – one plus one makes ten. – *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, **33** (B2): 63–74.
- BHALERO, A. & WILSON, R., 2001: Unsupervised image segmentation combining region and boundary estimation. – *Image and Vision Computing*, **19**: 353–368.
- BIEDERMAN, I., 1987: Recognition-by-components: A theory of human image understanding. – *Psychological Review*, **94**: 115–147.
- Definiens-Imaging, 2003: [www.definiens-imaging.com](http://www.definiens-imaging.com), letzter Zugriff: 10.02.2003.
- DONNER, R., 2002: Über den Beitrag der Geoinformatik zum Verständnis des Systems Erde. – *Photogrammetrie-Fernerkundung-Geoinformation*, **2002** (6): 443–450.
- EHLERS, M., EDWARDS, G. & BEDARD, Y., 1989: Integration of Remote Sensing with Geographic Information Systems: A Necessary Evolution. – *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, **55** (11): 1619–1627.
- EHLERS, M., 2000: Integrated Geographic Information Systems: From data integration to integrated analysis. – *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, **33** (B2): 172–178.
- FISCHER, A., KOLBE, T. H., LANG, F., CREMERS, A. B., FÖRSTNER, W., PLÜMER, L. & STEINHAGE, V., 1998: Extracting Buildings from Aerial Images Using Hierarchical Aggregation in 2D and 3D. – *Computer Vision and Image Understanding*, **72** (2): 185–203.
- FÖRSTNER, W., 2002: Kognitive Luftbildinterpretation zur Kartierung auf Anfrage. – Vortrag anlässlich der 22. Jahrestagung der DGPF, 24.09.2002.
- FUCHS, C., 1998: Extraktion polymorpher Bildstrukturen und ihre topologische und geometrische Gruppierung. – DGK-C 502, München.
- GAMBA, P., LODOLA, R. & MECOCCHI, A., 1997: Scene interpretation by fusion of segment and region information. – *Image and Vision Computing*, **15**: 499–509.
- GOLDSTEIN, E. B., 2002: *Wahrnehmungspsychologie*. – 2. dt. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, Berlin.
- GUSKI, R., 1989: *Wahrnehmung. Eine Einführung in die Psychologie der menschlichen Informationsaufnahme*. – Kohlhammer, Stuttgart u.a.
- HARALICK, R. M. & SHAPIRO, L. G., 1992: *Computer and Robot Vision*. – Addison-Wesley, Reading.
- HARTL, P. & CHENG, F., 1995: Delimiting the building heights in a city from the shadow on a panchromatic SPOT image: Part 2: Test of a complete city. – *International Journal of Remote Sensing*, **16** (15): 2829–2842.
- HELLWICH, O., 1999: Model Parameter Estimation for Digital Image Analysis Using Simula-

- ted Annealing. – Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation, **1999** (6): 371–380.
- KOLBE, T.H., 2000: Identifikation und Rekonstruktion von Gebäuden in Luftbildern mittels unscharfer Constraints. – Shaker-Verlag, Aachen.
- KONECNY, G., 1995: Geographische Informationssysteme aus der Sicht der Photogrammetrie. – In: BUZIEK, G. (Hrsg.): GIS in Forschung und Praxis. – 30–42, Wittwer-Verlag.
- MARR, D., 1982: Vision. – W.H. Freeman, San Francisco.
- PAVLIDIS, T. & LIOUW, Y.T., 1990: Integration Region-Growing and Edge Detection. – IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, **12** (3): 225–233.
- POSCHMANN, G., 1999: Grundbegriffe der präskriptiven Entscheidungstheorie. – Forschungsbericht 99-1 am Zentrum Mensch-Maschine-Systeme (ZMMS) der Technischen Universität Berlin.
- SCHIEWE, J., 2003: Auswertung hoch auflösender und multi-sensoraler Fernerkundungsdaten – Entwicklung von Methoden und Transfer in die Lehre. – Habilitationsschrift, Hochschule Vechta, Materialien Umweltwissenschaften Vechta (erscheint ca. Mai 2003).
- TopoSys, 2003: [www.toposys.com](http://www.toposys.com), letzter Zugriff: 10.02.2003.
- WICKENS, C.D. & HOLLANDS, J.G., 2000: Engineering Psychology and Human Performance. – Prentice Hall, New Jersey.
- ZHAN, Q., MOLENAAR, M. & TEMPFLI, K., 2002: Hierarchical image object-based structural analysis towards urban land use classification using high-resolution imagery and airborne LIDAR data. – Proceedings of 3<sup>rd</sup> International Symposium Remote Sensing of Urban Areas: 251–258.
- ZIMBARDO, P.G., 1988: Lehrbuch der Psychologie. – Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.

Anschrift des Verfassers:

PD Dr.-Ing. habil. JOCHEN SCHIEWE  
Hochschule Vechta, Forschungszentrum Geoinformatik und Fernerkundung (FZG)  
PF 1553, D-49364 Vechta  
Tel.: 04441-15558, Fax: 04441-15583  
e-mail: [jschiewe@fzg.uni-vechta.de](mailto:jschiewe@fzg.uni-vechta.de)

Manuskript eingereicht: Februar 2003  
Angenommen: März 2003

## Pixelbasierte Klassifizierung im Vergleich und zur Ergänzung zum objektbasierten Verfahren

BARBARA KOCH, MARKUS JOCHUM, EVA IVITS & MATTHIAS DEES, Freiburg

**Keywords:** remote sensing, classification, pixel-based, object-based, forest

**Zusammenfassung:** Zur Klassifizierung von Landbedeckungsarten wird in zunehmendem Maße auf das objektbasierte Verfahren zurückgegriffen. Neben den durch den neuartigen Klassifizierungsansatz verbundenen Vorteilen, wie beispielsweise der Segmentierung kompakter Objekte, die dem menschlichen Wahrnehmungsvermögen entsprechen, hat diese Methode auch ihre Schwachstellen. Mit der Bildung homogener Objekte geht gleichzeitig auch eine Generalisierung einher. Mit der pixelbasierten Klassifizierung wird jedes einzelne Pixel nach spektralen Ähnlichkeiten untersucht und in Klassen sortiert, was in der Regel keine homogene Objektbildung zulässt, aber andererseits auch keine Generalisierung darstellt.

Die vorliegende Untersuchung beschreibt den Einsatz pixelbasierter Klassifizierungsalgorithmen zur Analyse von homogenen Objekten, welche aus der objektbasierten Klassifizierung hervorgegangen sind. Es werden dafür Wald-Objekte auf der Basis pixelbasierter Verfahren klassifiziert. Für eine Bewertung der pixelbasierten Klassifizierung werden die untersuchten Objekte visuell interpretiert und dieses Ergebnis der Klassifizierung gegenübergestellt.

**Summary:** *Pixel-based classification as comparison and as complementary method of the object-based procedure.* Object-based methods are nowadays increasingly used for classification of land cover units. Beside the advantages of the new classification method, as for example segmentation of compact objects, which correspond to human perception, this method has also its weak points. By delineation of homogeneous objects also a generalisation of the objects is made at the same time. With the pixel-based classification each individual pixel is examined according to spectral similarities and sorted into classes, what usually permits no formation of homogeneous object, but on the other hand also no generalisation takes place.

This paper describes the application of pixel-based classification algorithms applied to homogeneous objects, which are derived from the object-based classification. For this the forest objects have been further classified by pixel-based algorithm. For the evaluation of the pixel-based classification the classified objects have been compared to visually interpreted objects.

### 1 Hintergrund

Hochauflösende Satellitendaten werden zunehmend eingesetzt, um Teile der Erdoberfläche aufzunehmen. Für die in der Regel automatische Klassifizierung der Satellitendaten stehen zwei Verfahren, das pixelbasierte und objektbasierte, zur Verfügung.

Bei den pixelbasierten Verfahren wird jedes einzelne Pixel analysiert und nach spektralen Ähnlichkeiten in Klassen sortiert. Bei den objektbasierten Verfahren wird von der

Annahme ausgegangen, dass ein Pixel mit einer hohen Wahrscheinlichkeit die gleiche Klassenzugehörigkeit hat wie sein Nachbarpixel. Das heißt, der Bildraum wird zuerst in homogene Regionen, bestehend aus ähnlichen Pixeln, segmentiert. Im Ergebnis entstehen im Bildraum sogenannte Objektprimitive, welche durch anschließende Klassifizierung über nutzer-definierte Regeln und Fuzzy zu homogenen Objekten klassifiziert werden (IVITS & KOCH 2002). Gerade in jüngster Vergangenheit hat sich der Einsatz von ob-

jektbasierten Klassifizierungsverfahren für die Erfassung von Landbedeckungsklassen stark durchgesetzt, was darauf zurückzuführen ist, dass mit diesem Verfahren die Möglichkeit besteht, unter Einbeziehung von GIS-Datenbank-Information Objekte so abzugrenzen, dass sie dem Wahrnehmungsvermögen des Betrachters entsprechen.

Eine aktuelle Verwendung findet das objektbasierte Verfahren auch für Untersuchungen zur Biodiversität in dem von der EU geförderten Projekt *BIOASSESS* (EVK2-CT1999-00041). Hier wird das objektbasierte Verfahren als Instrument zur Aufnahme von Habitatstrukturen eingesetzt, welche die Grundlage für die Bewertung der Biodiversität sind. Die ersten Auswertungsergebnisse zeigten eine gute Übereinstimmung zwischen der automatischen Objektbegrenzung und der durch visuelle Interpretation abgegrenzten Objekte. Beim objektbasierten Klassifizierungsverfahren wurde auf das weitverbreitete eCognition Software Paket der Firma Definiens (eCognition User Guide 2002) zurückgegriffen.

Trotz der in der Regel befriedigenden Klassifizierungsergebnisse auf der Basis objektbasierter Verfahren mit der Software e-Cognition gibt es auch Schwächen, die vor allem in der Segmentierung liegen. Diese erfolgt über die iterative Auswahl eines Scale-Faktors. Es unterliegt also damit der subjektiven Wahrnehmung des Bearbeiters, was die Übertragbarkeit des Verfahrens einschränkt. Darüber hinaus erfolgt innerhalb der einmal im Rahmen der Segmentierung gebildeten homogenen Objekte eine Generalisierung (KOCH & IVITS 2002), die einerseits Vorteile hat, da sie der menschlichen Wahrnehmung entgegenkommt, aber gerade bei Biodiversitäts-Untersuchungen wichtige Details innerhalb der Habitate (Objekte) nicht berücksichtigt, z.B. Lücken im Waldbestand, Mischungsverhältnisse im Mischbestand, Anteil offener Boden usw. Pixelbasierte Verfahren haben den Nachteil, dass keine Objekte, wie sie der menschlichen Wahrnehmung entsprechen, abgegrenzt werden, andererseits aber jedes Pixel für den Nutzer aufgrund bestimmter statistischer Merkmale nachvollziehbar einer Klasse zu-

geordnet wird und damit der subjektive Einfluss des Bearbeiters sehr gering gehalten werden kann. Darüber hinaus unterbleibt jede Art von Generalisierung.

Auf der Basis der genannten Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Klassifizierungsverfahren stellt sich die Frage, inwieweit eine Kombination der Ansätze zu einer Optimierung der Klassifizierung von Wäldern führen kann.

## 2 Zielsetzung

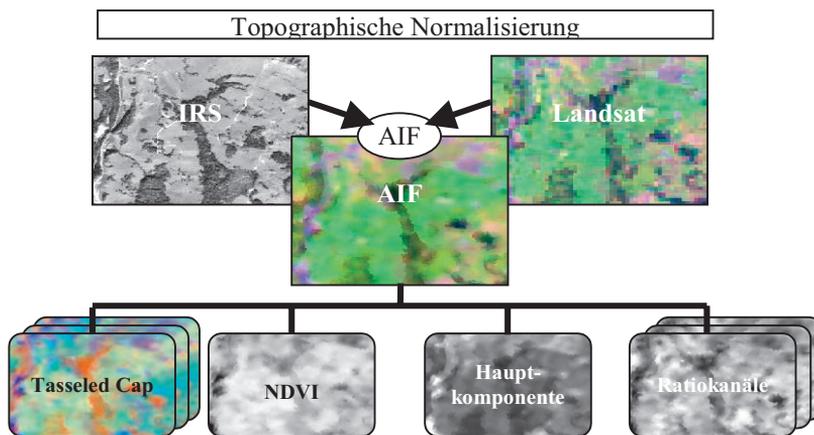
Die Arbeit hatte daher zwei Zielsetzungen, einmal sollte die objektbasierte Klassifizierung unter Nutzung der eCognition Software mit den auf der Basis der in ERDAS IMAGINE verfügbaren pixelbasierten Klassifizierungsalgorithmen (ERDAS FIELD GUIDE 2001) verglichen werden, andererseits sollte geprüft werden, inwieweit es sinnvoll ist, das pixelbasierte Verfahren an das objektbasierte zu koppeln, um die homogenen Objekte einer weitergehenden Klassifizierung auf dem pixelbasierten Wege zu unterziehen.

Im Rahmen des Projektes *BIOASSESS* wurden bereits Testgebiete in der Schweiz mit dem objektbasierten Verfahren unter Anwendung der Software eCognition Version 3.1 klassifiziert. Unter den im Rahmen von *BIOASSESS* klassifizierten Landbedeckungsarten wurden in dieser Arbeit ausschließlich die Objekte, die Wald repräsentieren, mit dem pixelbasierten Verfahren verglichen und weiterklassifiziert. Es wurden für die Untersuchungen zwei Testgebiete in der Schweiz genutzt. Diese eigneten sich für die Untersuchung besonders gut, da die wenigsten Bestände kompakte Reinbestände sind, so dass bei einer objektbasierten Klassifizierung die Objekte sehr stark generalisiert werden.

## 3 Methodik

### 3.1 Bildverarbeitung

Die gegebenen Daten der Satellitensysteme IRS 1D Pan (5,6 m) und Landsat ETM (30 m) wurden einer topographischen Nor-



**Abb. 1:** Informationsebenen erstellt aus Landsat ETM und IRS 1-D Daten als Basis für die Klassifizierungen.

malisierung unterzogen und anschließend mit der von STEINNOCHER (1999) entwickelten Adaptive Image Fusion Methode (AIF) fusioniert. Aus dem Bildprodukt (AIF) wurden im Folgenden weitere sekundäre oder künstliche Kanäle errechnet, wie Tasseled Cap, NDVI, Hauptkomponente und drei unterschiedliche Ratiokanäle (Abb. 1). Darüber hinaus stand auch ein digitales Höhenmodell (DHM) des Untersuchungsgebiets zur Verfügung.

### 3.2 Verwendete Klassifizierungsalgorithmen

#### 3.2.1 Objektbasierte Klassifizierung mit eCognition

Die fusionierten Landsat ETM und IRS 1D Bilder wurden unter Nutzung der „Fractal Net Evolution Approach“ (FNEA) mit der Software eCognition (BAATZ & SCHÄPE 1999) in aufeinander folgenden Ebenen segmentiert. Der FNEA verwendet eine Segmentierungstechnik im objektorientierten Rahmen. Das Ziel ist es, benachbarte Pixel mit ähnlichen Grauwerten zu Objekten zu gruppieren, wobei der zugrunde liegende Optimierungsalgorithmus Pixel aufgrund von Homogenitätskriterien in Objekte zusammenfasst. Die Homogenität wurde so-

wohl nach spektralen als auch nach räumlichen Eigenschaften bestimmt. Die Segmentierung fand in hierarchischen Ebenen statt, wobei zwischen den verschiedenen Ebenen und deren Objekten ein semantisches Netz gebildet wird. Die Objekte der verschiedenen Ebenen wurden unter Nutzung der „Fuzzy-Logik“ Theorie nach nutzerdefinierten Regeln in Klassen zusammengefasst. Dies gestattete die Entwicklung eines hierarchischen Klassifikationssystems, wobei die Objekte in immer feinere Klassen eingeordnet wurden.

In dieser Studie wurden sechs hierarchische Stufen nach dem CORINE System klassifiziert. Auf der einfachsten Stufe wurden Wald, sonstige Vegetation und mehrere Nichtvegetationsklassen mit Hilfe von Multispektral-, Textur- und Höheninformation als Klassen gebildet. Auf weiteren Ebenen wurde der Wald bis zu einer Flächengröße von 1 ha in Nadel-, Laub-, Mischwald und offene Waldflächen differenziert. Bei Flächen unter 1 ha wurde der Wald zwar als Fläche erfasst, aber nicht mehr weiter differenziert. Im Rahmen der Segmentierung konnten auf der Basis der genannten Datensätze Waldflächen ab einer Größe von 250–300 m<sup>2</sup> abgegrenzt werden.

Für landschaftsökologische Auswertungen, bei denen Objekteigenschaften wie Fläche, Umfang und Nachbarschaftsbeziehun-

gen eine entscheidende Rolle spielen, erwies sich die objektorientierte Methode als ein stabiles Verfahren zur Objektdelinierung. (IVITS et al. 2002)

### 3.2.2 Pixelbasierte Klassifizierung mit ERDAS IMAGINE Software

Für die pixelbasierte Klassifizierung wurde auf denselben Datensatz wie für die objektorientierte Klassifizierung zurückgegriffen. Es wurden zunächst die pixelbasierten Klassifizierungsalgorithmen Maximum Likelihood, Minimum Distance und Box-Classifier (ERDAS FIELD GUIDE 2001) im Rahmen einer überwachten Klassifizierung getestet. Darüber hinaus wurde der verfügbare Expert Classifier zur hierarchischen Klassifizierung genutzt. Im Gegensatz zu den ersten drei genannten Klassifizierungsalgorithmen, auf die hier nicht näher eingegangen wird, da sie in der einschlägigen Literatur vielfach beschrieben sind, erfolgt bei der hierarchischen Klassifizierung die Zuordnung der Pixel zu Klassen durch eine Aneinanderreihung von Einzelentscheidungen.

Mit dem Modul Expert Classifier von ERDAS in der Version 8.5 ist es möglich, das Prinzip der hierarchischen Klassifizierung umzusetzen. Ein Element des Expert Classifiers ist der Knowledge Engineer, ein graphischer Editor, der es ermöglicht, einen wissensbasierten Entscheidungsbaum anzufertigen. Durch den Begriff „wissensbasiert“ kommt zum Ausdruck, dass zusätzliche Kenntnisse über das Untersuchungsgebiet in den Klassifizierungsprozess mit eingebunden werden können. In der vorliegenden Arbeit wurde weitgehend Wissen in Form von spektralen Informationen der Landbedeckungsarten verarbeitet.

Bestandteile eines Entscheidungsbaumes im Expert Classifier sind Hypothesen, Regeln und Variablen. Als Hypothesen werden die Ausgabeklassen einer Klassifizierung bezeichnet. Jede Hypothese (Klasse) wird von mindestens einer Regel definiert, welche wiederum eine oder mehrere Bedingungen bzw. Variablen enthält. Eine Verknüpfung dieser Elemente erlaubt die Erstellung eines hierarchischen Entscheidungsbaumes.

Ein Pixel des zugrunde liegenden Satellitenbildes wird nur einer definierten Klasse zugewiesen, wenn es die Bedingungen der entsprechenden Regeln und Variablen erfüllt. Entscheidend für die Konstruktion eines Entscheidungsbaumes ist daher die Definition der Regeln und Variablen. Über die Variablen lassen sich neben den Satellitenbilddaten auch alle Arten sekundärer Bildparameter wie NDVI, Ratiokanäle, Tasseled Cap etc. sowie Hangneigung, Exposition, Höhenmodelle und Vektordaten in das Regelwerk einbinden. Der Vorteil der hierarchischen Klassifizierung liegt in einer sehr flexiblen Anwendung, da für jeden Entscheidungsschritt die günstigste Kanalkombination für die Bestimmung der Trennwerte gewählt werden kann (ALBERTZ 1991).

Im Knowledge Engineer werden diese Trennkriterien über die Variablen definiert, wobei ein Kanal sowie ein bestimmter Schwellenwert festgelegt werden müssen. Aus dem zur Verfügung stehenden Datenmaterial musste nun für jeden Entscheidungsschritt herausgefunden werden, welche Kanalkombination am besten geeignet ist und mit welchen Trennwerten letztlich eine möglichst genaue Trennung zweier Klassen vorgenommen werden kann. Für diesen Zweck wurden über typische Trainingsgebiete der gesuchten Klassen spektrale Signaturen entnommen und einer Signaturanalyse unterzogen. Somit konnten die Kanäle identifiziert werden, die eine gute Trennung der gesuchten Klassen zulassen (JOCHUM 2002).

Die Erstellung des Entscheidungsbaumes ist ein iterativer Prozess, bei dem an jeder Entscheidungsstufe zusätzlich geprüft werden muss, welche Klasse zur Trennung von den restlichen Klassen geeignet ist. Eine Klasse eignet sich zur Trennung, wenn sie sich bezüglich charakteristischer spektraler oder sonstiger Merkmale zumindest in einer Informationsebene von anderen Klassen unterscheidet.

### 3.2.3 Trennkriterien für die Klassifizierung mit dem Expert Classifier

Da die Klassifizierung sich ausschließlich auf die Waldflächen beschränkte, wurde zunächst, wie beschrieben, eine Wald-Nichtwaldklassifizierung durchgeführt. Hierzu wurden für den Expert Classifier die auf der Basis von Trennbarkeitsanalysen in Tab. 1

**Tab. 1:** Trennkriterien der Klasse Wald. Testgebiet 1.

Klasse	Kanal	Trennwert
Wald	IRS 1-D	$\leq 47$
	Hauptkomponente	$\leq 83$
	AIF Band 4	$\leq 150$

**Tab. 2:** Trennkriterien der Klasse Wald. Testgebiet 2.

Klasse	Kanal	Trennwert
Wald	IRS 1-D	$\leq 45$
	Hauptkomponente	$\leq 89$
	AIF Band 4	$\leq 139$

**Tab. 3:** Trennkriterien Testgebiet 1.

Klasse	Kanal	Trennwert
Nadelwald	AIF Band 4	$\leq 92$
	Tasseled Cap 1	$\leq 63$
Offener Wald	Ratio AIF 5/4	$\geq 67$
	DHM	$\geq 1200$
Laubwald	Tasseled Cap 1	$\geq 75$
Mischwald	Tasseled Cap 1	$< 75$

**Tab. 4:** Trennkriterien Testgebiet 2.

Klasse	Kanal	Trennwert
Offener Wald	Ratio AIF 5/4	$\geq 70$
Nadelwald	Tasseled Cap	$\leq 48$
	AIF Band 4	$< 87$
Laubwald	Tasseled Cap 1	$> 60$
Mischwald	Tasseled Cap 1	$\leq 60$

und 2 gelisteten Informationsebenen mit den angegebenen Trennwerten ermittelt.

Für die Klassen Nadelwald, Mischwald, Laubwald und offener Wald wurde der Entscheidungsbaum weitergeführt und die in Tab. 3 und 4 angegebenen Informationsebenen und Werte genutzt.

### 3.3 Visuelle Interpretation zur Verifizierung der Ergebnisse

Für den Vergleich der objektbasierten Klassifizierung mit der pixelbasierten Klassifizierung wurde in der vorliegenden Arbeit die thematische Genauigkeit der Waldmaske sowie die Genauigkeit der Klassen Nadelwald, Mischwald, Laubwald und offener Wald für jedes Testgebiet überprüft. Die Verifizierung der produzierten Klassifizierungen erfolgte durch einen Vergleich mit geographischen Referenzdaten, die aus gut interpretierbarem Bildmaterial einer Aufnahme des hochauflösenden Satelliten QuickBird (2,5 m) entnommen wurden. Dabei wurden für die Waldmaske 100 Stichprobenpunkte und für die Bestandesklassifizierung 230 Stichprobenpunkte vom Computer zufällig über das Bild verteilt, ausgewählt und anschließend den visuell interpretierten Klassen zugewiesen. Die Gegenüberstellung der referenzierten mit den klassifizierten Punkten in einer Kontingenztabelle ermöglichte die Herleitung der Gesamtgenauigkeit.

Für die Verifizierung der pixelbasierten Klassifizierungsgenauigkeit innerhalb einzelner Objekte wurden QuickBird (2,5 m Nadir) und CIR-Luftbilder im Maßstab 1:10.000 interpretiert. Zur differenzierten Bewertung einzelner pixelbasiert klassifizierter Objekte wurden 75 Objekte, die sich in beiden Testgebieten befinden, durch eine systematische Stichprobe selektiert. Diese Objekte wurden anschließend in einem GIS (ArcView) auf der Grundlage einer Aufnahme des Satelliten QuickBird visuell interpretiert. Dafür wurden die von eCognition segmentierten Objektkollektive für Nadelwald, Mischwald, Laubwald und offener Wald als Vektordatei in ArcView exportiert und als

Layer über das orthorektifizierte QuickBird Bild gelegt. Für jedes einzelne Objekt wurden nun innerhalb der gegebenen Objektgrenzen erkennbare Bestandestypen digitalisiert. Hierbei wurden neben den Klassen Nadelwald, Mischwald, Laubwald und offener Wald auch zusätzlich Nicht-Waldflächen ausgeschieden.

Für die Bewertung der pixelbasierten Klassifizierung wurden anschließend alle 75 ausgewählten und pixelweise klassifizierten Objekte den entsprechenden visuell interpretierten Objekten gegenübergestellt. Die Daten der Objekte aus der pixelbasierten Klassifizierung und der visuellen Interpretation in ArcView ermöglichten einen statistischen Vergleich der Klassenanteile in Hektar bzw. Quadratmeter, ohne Beurteilung der Lagerichtigkeit. Um darüber hinaus auch Aussagen über die Lagerichtigkeit der pixelweisen Klassifizierung machen zu können, wurde ein visueller Vergleich der interpretierten Objekte mit den pixelweise klassifizierten durchgeführt.

Im Rahmen dieser visuellen Bewertung wurden 3 Kategorien gebildet:

- Kategorie 1: Nahezu vollständige Übereinstimmung
- Kategorie 2: Übereinstimmung in Teilbereichen
- Kategorie 3: Geringe Übereinstimmung

Trotz dieser recht subjektiven Bewertung kann bei dieser Vorgehensweise ein Eindruck zum lagerichtigen Informationsgewinn durch ergänzende pixelweise Klassifizierung der Objekte gewonnen werden.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Ergebnis der vergleichenden Klassifizierung von objektbasierten und pixelbasierten Verfahren

Die Ergebnisse für die klassifizierte Waldmaske und die Klassifizierung der Waldtypen (Nadelwald, Mischwald, Laubwald und offener Wald) sind im Folgenden dargestellt.

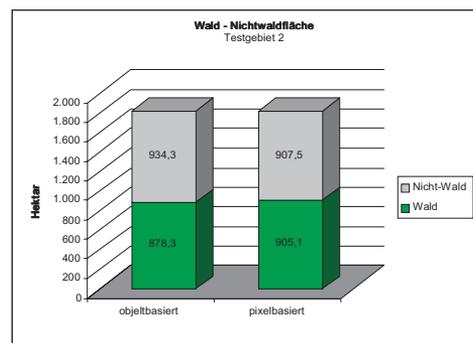
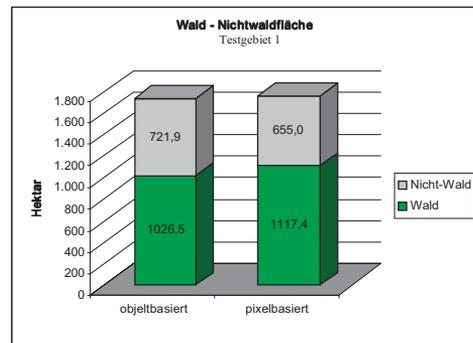
Für die Waldmaske sind nur die Genauigkeiten der pixelbasierten hierarchischen

**Tab. 5:** Gesamtgenauigkeit der klassifizierten Waldmaske (pixelbasiert, objektbasiert) für die Testgebiete 1 und 2.

Waldmaske	Gesamtgenauigkeit
Testgebiet 1 pixelbasiert	92 %
Testgebiet 1 objektbasiert	89 %
Testgebiet 2 pixelbasiert	94 %
Testgebiet 2 objektbasiert	92 %

Klassifizierung im Vergleich zur objektbasierten dargestellt, da die anderen pixelbasierten Klassifizierungsalgorithmen in ihrer Genauigkeit deutlich hinter dem hierarchischen Klassifizierungsansatz zurückblieben.

Der Vergleich des objektbasierten Verfahrens mit dem pixelbasierten hierarchischen Verfahren schloss auch eine Überprüfung der absoluten Waldfläche mit ein. Wie aus den Abb. 4 und 5 deutlich wird, wurde mit beiden Verfahren sowohl im Testgebiet 1 als auch 2 in etwa die gleiche Waldfläche erfasst.



**Abb. 2:** Vergleich der Wald- und Nichtwaldfläche von pixelbasierter und objektbasierter Klassifizierung für das Testgebiet 1 und 2.

**Tab. 6:** Gesamtgenauigkeit der Klassifizierungen in Nadelwald, Mischwald, Laubwald und offener Wald.

	Klassifizierungsverfahren	Gesamtgenauigkeit
Testgebiet 1	Hierarchisch	78 %
	Maximum Likelihood	66 %
	Minimum Distance	73 %
	Box-Klassifikator	67 %
	Objektbasiert	92 %
Testgebiet 2	Hierarchisch	76 %
	Maximum Likelihood	60 %
	Minimum Distance	61 %
	Box-Klassifikator	63 %
	Objektbasiert	82 %

Die pixelbasierte Klassifizierung lieferte dabei in beiden Fällen mit 1117,4 ha (Testgebiet 1) und 905,1 ha (Testgebiet 2) eine etwas größere Waldfläche als die objektbasierte Variante mit 1026,5 ha (Testgebiet 1) und 878,3 ha (Testgebiet 2).

In Tab. 6 wird deutlich, dass das objektbasierte Verfahren bei der Klassifizierung

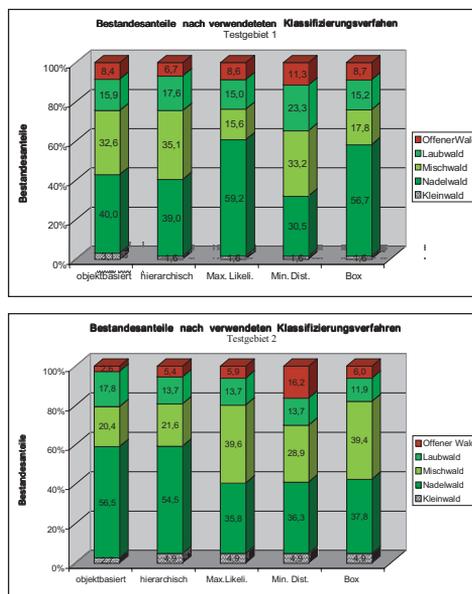
der Waldtypen den pixelbasierten Verfahren überlegen ist. Wiederum konnte bei den pixelbasierten Verfahren mit dem hierarchischen Klassifizierungsansatz das beste Ergebnis erzielt werden.

Ein Vergleich der Bestandesanteile aus der objektbasierten Waldtypenklassifizierung mit den verschiedenen pixelbasierten Verfahren (hierarchisch, Maximum Likelihood, Minimum Distance, Box-Klassifikator) (Abb. 3) macht deutlich, dass die Anteile Nadelwald, Mischwald, Laubwald und offener Wald unter den pixelbasierten Verfahren erhebliche Abweichungen zeigen. Hierbei zeigt wiederum der hierarchische Ansatz bei der pixelbasierten Klassifizierung die größte Übereinstimmung mit dem objektbasierten Verfahren.

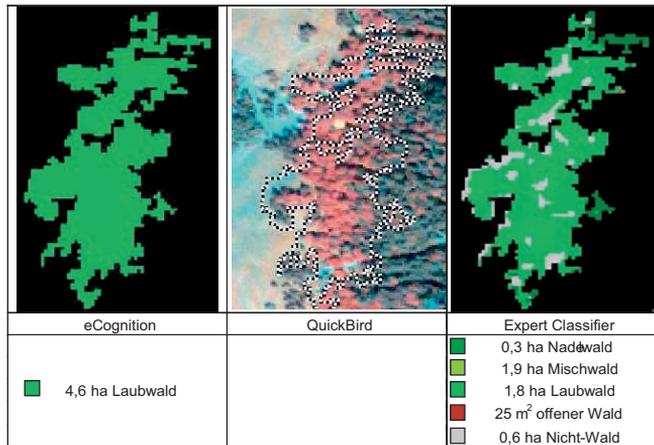
#### 4.2 Ergebnis der pixelbasierten Klassifizierung innerhalb einzelner segmentierter Objekte

Wie in Abb. 4 zu erkennen ist, werden durch die objektbasierte Klassifizierung die Objekte, trotz der im Vergleich zu QuickBird (2.5 m Nadir) nur mäßigen räumlichen Auflösung der Eingangsdaten (fusionierte Landsat ETM (30 m) und IRS 1D (5.6 m)), in der Form der Außengrenzen recht gut erfasst. Nichtsdestotrotz sind Abweichungen an der Außengrenze erkennbar, die einerseits auf die im Vergleich zu QuickBird geringeren Auflösung zurückzuführen sind, andererseits aber auch auf den objektbasierten Ansatz. Dies gilt auch für die Innenflächen der Objekte, die in diesem Beispiel zwar vorwiegend aus Laubwaldanteilen bestehen, aber auch offene Bereiche und Einmischungen von anderen Baumgruppen aufweisen, die so von dem objektbasierten Ansatz nicht erfasst werden können. Eine Überprüfung der auf der Basis von eCognition durchgeführten Objektklassifizierung zeigte im Vergleich zur visuellen Interpretation, dass bei 23 Objekten die jeweilige zugewiesene Klasse mit weniger als 50% an der Gesamtfläche vertreten ist.

Von diesen 23 Objekten entfallen allein 9 auf die Objektklasse offener Wald. Mit Hilfe der nicht generalisierten, pixelweisen Klas-



**Abb. 3:** Bestandesanteile nach verwendeten Klassifizierungsverfahren für das Testgebiet 1 und 2.

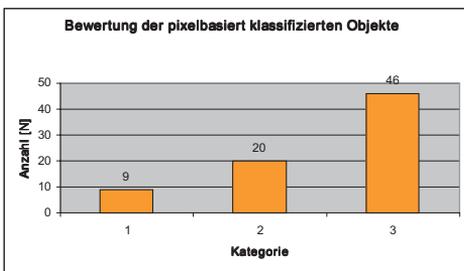


**Abb. 4:** Laubwaldobjekt aus dem objektbasierten Verfahren im Vergleich zu QuickBird und der pixelbasierten Klassifizierung.

sifizierung, wie im rechten Bildteil dargestellt, kann dagegen bei gleicher Auflösung der Eingangsdaten eine differenziertere Wiedergabe der Objektränder und in jedem Fall des Gesamtobjektes erreicht werden. Obwohl also mit dem pixelbasierten Ansatz grundsätzlich eine differenziertere Wiedergabe der Flächenzusammensetzung innerhalb der Objekte erreicht wurde, zeigte die Auswertung der insgesamt 75 Objekte, dass bei 46 Flächen deutliche Abweichungen zwischen pixelbasierter Klassifizierung und Interpretation bestehen, bei 20 Objekten die interpretierten Flächenanteile gut durch die pixelbasierte Klassifizierung beschrieben werden und bei 9 eine nahezu vollständige Übereinstimmung vorliegt (Abb. 5 und 6). Unter den 9 Objekten der Kategorie 1 befanden sich 4 Objekte, die keine zusätzlich

klassifizierten Bestandesanteile aufweisen, da es sich um Reinbestände handelt.

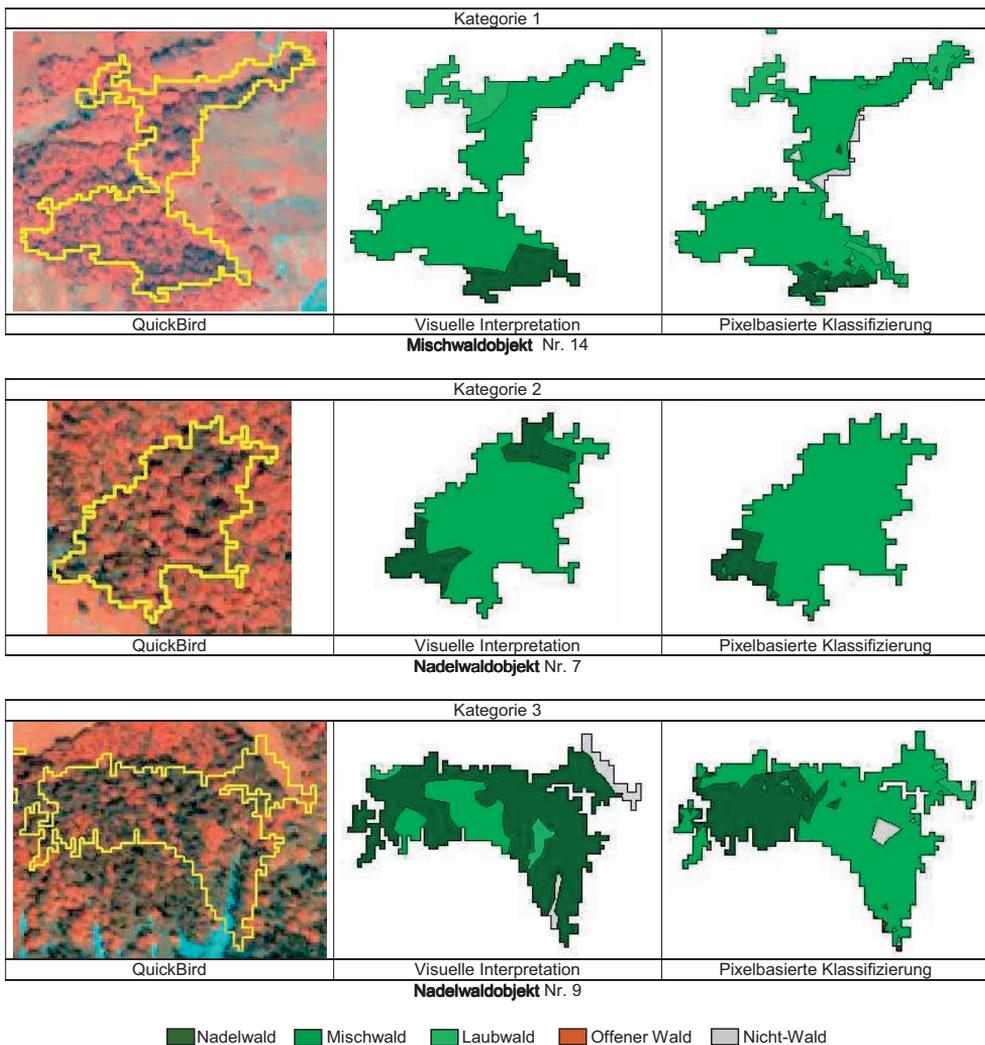
Ein Blick auf die Bewertung der einzelnen Objektkollektive macht deutlich, dass vor allem die Nadelwaldobjekte und die Objekte offener Wald gut über den pixelweisen Ansatz klassifiziert wurden. Bei letzteren konnten vor allem Flächen, die nicht dem Wald angehören, sehr gut erfasst werden. Die Mischwaldobjekte und Laubwaldobjekte zeigten den geringsten Deckungsgrad im Vergleich zur visuellen Interpretation (Tab. 7). Insbesondere die schlechte Übereinstimmung für die Kategorie Mischwald ist jedoch auch auf Interpretationsprobleme zurückzuführen, da fließende Übergänge in die Reinbestandsform keine eindeutige und wiederholbare Abgrenzung erlaubten.



**Abb. 5:** Bewertung aller 75 Objekte, die pixelbasiert klassifiziert wurden.

**Tab. 7:** Anzahl der Objekte nach Objektkollektiven und Kategorie.

Objektkollektiv	Kategorie			∅ Kategorie
	1	2	3	
Nadelwaldobjekte	4	9	12	2,32
Mischwaldobjekte	3	–	12	2,7
Laubwaldobjekte	1	4	12	2,6
Objekte offener Wald	1	7	5	2,3
Summe	9	29	46	



**Abb. 6:** Beispiele für die verschiedenen Bewertungskategorien.

Eine genauere Betrachtung der Fehlklassifizierungen zeigt darüber hinaus, dass diese vorwiegend auf die unterschiedliche Auflösung der Datenebenen zurückzuführen sind, d.h. die wesentlich geringere Auflösung der Landsat ETM Daten im Vergleich zu QuickBird führte dazu, dass in QuickBird interpretierte Teilflächen auf der Landsat Datenebene nur als Mischpixel erfasst wurden. Diese Mischpixel wurden dann bei der Klassifizierung aufgrund der gemischten spektralen Rückstrahlung vielfach einer an-

deren als der interpretierten Klasse zugeordnet. Dies war insbesondere dann der Fall, wenn Pixel über wenig reflektierenden Nadelwaldteilen durch umliegenden stark reflektierenden Laubwald oder Grünlandanteile beeinflusst waren. Des Weiteren wird deutlich, dass trotz topographischer Normalisierung bei steilem Gelände der Einfluss unterschiedlicher Beleuchtung nicht völlig zurückgedrängt werden kann. So wurden nadelwalddominierte Flächen, die zwar Laubwaldanteil aufwiesen, aber weniger als

30%, und somit nach Definition als Nadelwald hätten klassifiziert werden sollen, in sonnenexponierten Lagen eher der Klasse Mischwald als Nadelwald zugeordnet.

## 5 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Die Untersuchungen zeigten, dass der objektspezifische Klassifizierungsansatz sich gut eignet, um Waldobjekte zu segmentieren. Obwohl für die Klassifizierung von Waldobjekten der objektspezifische Ansatz dem pixelbasierten Verfahren überlegen ist, haben die Untersuchungen auch gezeigt, dass die einzelnen Objekte stark generalisiert werden. Der gleiche Objekttyp kann in seiner Ausprägung sehr unterschiedlich sein, so hat z. B. der Objekttyp Laubwald zwar immer einen dominierenden Anteil an Laubbäumen, aber die Höhe des Anteils und die Beimischung anderer Bestandestypen kann sehr verschieden sein. Mit dem pixelbasierten Ansatz können solche unterschiedlichen Ausprägungen dargestellt werden. Insgesamt scheint eine Kombination des objektspezifischen Ansatzes mit dem pixelbasierten hierarchischen Ansatz vielversprechend, um die Klassifizierung zu verbessern, denn es können einerseits Objekte ausgewiesen werden, die an die Datengrundlage und die Bedürfnisse des Nutzers (z. B. keine Flächen unter 0,5 ha) angepasst sind, andererseits aber auch differenziertere Informationen über das Objekt erfasst werden.

## Literatur

- ALBERTZ, J., 1991: Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern Eine Einführung in die Fernerkundung. 204 S., Wiss. Buchges., Darmstadt.
- BAATZ, M. & SCHÄPE A., 1999: Object-Oriented and Multi-Scale Image Analysis in Semantic Networks. Proc. of the 2<sup>nd</sup> International Symposium on Operationalization of Remote Sensing, August 16<sup>th</sup>–20<sup>th</sup>, 1999, Enschede, ITC.
- eCognition User Guide, 2002: <http://www.definiens-imaging.com>.
- ERDAS Field Guide 2001: 5. Auflage ERDAS IMAGINE® inc., Atlanta.
- IVITS, E., ADLER, P. & KOCH, B., 2002: Optimierung der Erfassung der Biodiversität auf der Basis von Satelliten- und Luftbildern: ein Europäisches Landschaftskonzept. Tagungsbeitrag zur 3. Jahrestagung der IALE-Region Deutschland: Bewertung und Entwicklung der Landschaft, 26.–28. September 2002, Dresden.
- IVITS, E. & KOCH, B., 2002: Object-Oriented Remote Sensing Tools for Biodiversity Assessment: a European Approach. Proceedings of the 22<sup>nd</sup> EARSeL Symposium, Prag, Czech Republic, 4.–6. Juni 2002, Millpress Science Publishers, Rotterdam, Niederlande.
- JOCHUM, M., 2002: Pixelbasierte Klassifizierung für landschaftsökologische Auswertungen zur Erfassung der Biodiversität in Europa – Ein Vergleich mit dem objektbasierten Verfahren. – Diplomarbeit an der Fakultät für Forst- und Umweltwissenschaften der Albert Ludwigs-Universität, Freiburg im Breisgau.
- KOCH, B. & IVITS, E., 2002: What can Remote Sensing provide for Biodiversity Assessment. – BioAssess an project example. Presented at ForestSAT Symposium Heriot Watt University, Edinburgh, August 5<sup>th</sup>–9<sup>th</sup> 2002.
- STEINNOCHER, K., 1999: Adaptive Image Fusion of Multisource Raster Data Applying Filter Techniques. – International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 32, Part 7-4-3 W6.

### Anschrift der Autoren:

Prof. Dr. BARBARA KOCH  
 e-mail: [barbara.koch@felis.uni-freiburg.de](mailto:barbara.koch@felis.uni-freiburg.de)  
 Dipl.-Forstwirt MARKUS JOCHUM  
 e-mail: [markus.jochum@felis.uni-freiburg.de](mailto:markus.jochum@felis.uni-freiburg.de)  
 M.Sc. EVA IVITS  
 e-mail: [eva.ivits@felis.uni-freiburg.de](mailto:eva.ivits@felis.uni-freiburg.de)  
 Dr. MATTHIAS DEES  
 e-mail: [dees@ruf.uni-freiburg.de](mailto:dees@ruf.uni-freiburg.de)

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg,  
 Abt. Fernerkundung und Landschaftsinformationssysteme, Tennenbacher Straße 4,  
 D-79106 Freiburg, Tel.: (49)-761-203 3694  
 Fax: (49)-761-203 3701

Manuskript eingereicht: Januar 2003  
 Angenommen: Februar 2003

## Aufbau eines Grünflächen-Informationssystems mittels HRSC-A Daten und mobiler GPS-gestützter Kartierung

ANITA WEBNER, Rostock

**Keywords:** remote sensing, HRSC-A, eCognition, mobiles GIS, GPS

**Summary:** *Establishing a green-area information system based on HRSC-A data and mobile GPS-based mapping. A combined approach of eCognition and visual interpretation of high resolution HRSC-A data, available GIS-Data and GPS-based mobile mapping has been successfully implemented for a public green area management GIS of the city of Rostock.*

With the automated image analysis the distribution of local green areas may be determined. However the acquisition of the maintenance units requires the combined procedure.

**Zusammenfassung:** In diesem Beitrag wird ein kombiniertes Verfahren, bestehend aus automatisierter Bildinterpretation mit eCognition, visueller Bildinterpretation sowie mobiler GPS-gestützter Kartierung beschrieben, bei dem hoch auflösende HRSC-A Daten und verfügbare GIS-Daten erfolgreich für den Aufbau eines Grünflächen-Informationssystems der Stadt Rostock verwendet wurden.

Hervorzuheben ist, dass die automatisierte Bildinterpretation durchaus die Grünverteilung ermittelt, allerdings die Erfassung der verwaltungsspezifischen Pflegeeinheiten die kombinierte Vorgehensweise erfordert.

---

### 1 Einleitung

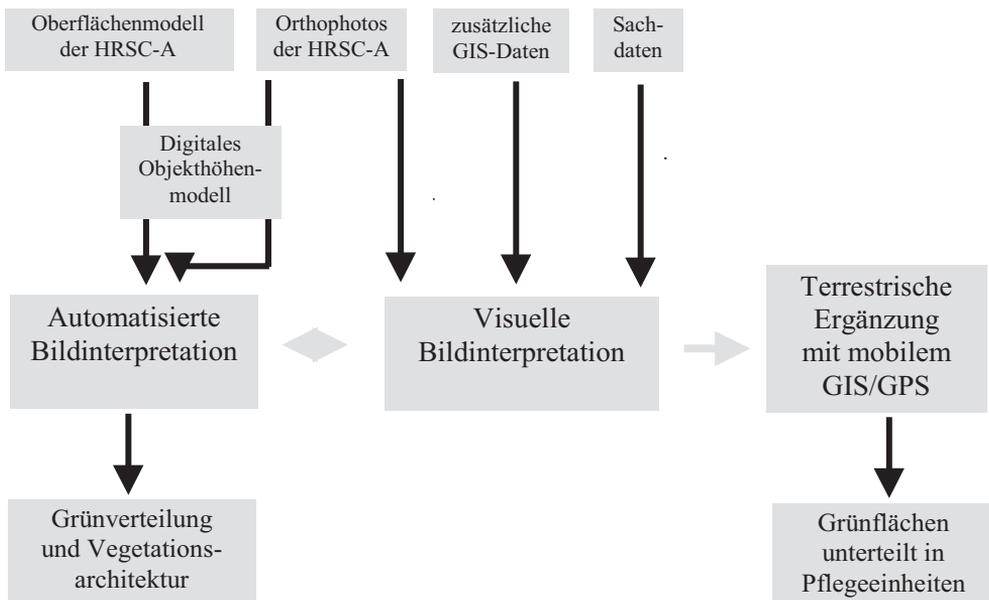
Für ein effizientes Grünflächenmanagement müssen grundlegende Planungsdaten bzw. raumbezogene Zustandsinformationen aktuell, digital und in möglichst guter Auflösung zur Verfügung stehen. Das Amt für Stadtgrün der Hansestadt Rostock baut derzeit ein Grünflächen-Informationssystem auf, welches die Inventur, die Dokumentation und die Analyse der öffentlichen Grünflächen unterstützen soll (GALK 2002). Große Flächen des öffentlichen Stadtgrüns, insbesondere die Parkanlagen mit ihrer Ausstattung, sind noch nicht vollständig erfasst, vermessen und bonitiert.

Oftmals wurde die Grünflächenerfassung mit Maßband, Messrad und Feldbuch durchgeführt. Anschließend erfolgte die manuelle Übertragung der analogen Daten in das digitale Grünflächen-Informationssystem. Diese Arbeitsweise liefert zwar eine vollständige Datengrundlage, erfordert al-

lerdings einen hohen Zeit- und Personalaufwand für die notwendigen Geländebegehungen und ist fehleranfällig. Die Kartierung liefert zudem keine aktuell verfügbare vergleichbare Datengrundlage für das gesamte Stadtgebiet. Die raschen Veränderungen der Grünflächen können durch konventionelle Aufzeichnung nicht mehr zeitgerecht abgebildet werden.

Als Alternative zur ausschließlich terrestrischen Erfassung wurde die Methode der wissensbasierten Klassifikation (eCognition) in Verbindung mit der visuellen Bildinterpretation auf der Basis von Flugzeugscannerdaten der HRSC-A-Kamera untersucht. Der Einsatz dieser neuen Bilddaten hat bislang nur begrenzt Eingang in bestehende Inventur-, Monitoring- und Planungsverfahren der Grünflächenverwaltung gefunden (BLASCHKE et al. 2002).

Um eine vollständige Erfassung aller Pflegeeinheiten nach dem so genannten „Wolfsburger Modell“ zu gewährleisten, ist zusätz-



**Abb. 1:** Datenflussmodell für die Erfassung der öffentlichen Grünflächen.

lich eine terrestrische Erfassung mit einem mobilen GPS/GIS-System notwendig.

Die in Abb. 1 dargestellte Strategie zur Grünflächenenerfassung wurde am ca. 30 ha umfassenden Rostocker Park „Am Fischerdorf“ getestet. Die grundlegenden Verfahrenskomponenten werden im Folgenden näher erläutert.

## 2 High Resolution Stereo Camera – Airborne (HRSC-A)

Das ursprünglich vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) für einen Marsseinsatz konzipierte HRSC-A Kamerasystem arbeitet nach dem Drei-Zeilen-Prinzip. Dabei wird jedes Objekt beim Überflug kontinuierlich von den CCD-Zeilensensoren (Charged Coupled Device) in Form von drei verschiedenen Bildstreifen abgetastet und damit aus drei verschiedenen Winkeln (Vorwärts, Nadir, Rückwärts) aufgenommen. Fünf dieser CCD-Zeilen dienen der Stereoauswertung, die in die Berechnung des Digitalen Oberflächenmodells (DOM) einfließt und im Anschluss daran die auto-

matisierte Generierung von kartenprojizierten Orthophotos ermöglicht. Die übrigen vier Kanäle haben verschiedene Filter zur Erzeugung multispektraler Bilder (Blau, Grün, Rot, Nahes Infrarot) (HOFFMANN & LEHMANN 2000, HRSC-TEAM 2002).

Die Hansestadt Rostock verfügt über Flugzeugs Scannerdaten der HRSC-A Kamera vom 19.05.2000. Der Nadir- und die Rot-Grün-Blau-Kanäle (RGB) wurden vom DLR als Orthophotos mit einer Bodenauflösung von 16 cm und der nahe Infrarotkanal (NIR) mit einer Auflösung von 50 cm geliefert. Bei dem DOM handelt es sich um eine flächendeckende geometrische Beschreibung der in den Bilddaten abgebildeten Geländeoberfläche (z.B. der Oberkante der Vegetation, der Dachflächen u.a.) mit einer x,y-Auflösung von 50 cm und einer z-Auflösung von 10 cm. Für das DOM können in Bereichen mit stetigen, geschlossenen Geländeoberflächen und genügend ausgeprägter Textur Höhengenaugigkeiten von  $\pm 20$  cm erreicht werden (SCHOLTEN et al. 2001). Sichtschatten z.B. an Gebäudekanten sowie nicht geschlossene Oberflächen, wie beispielsweise unbelaubte Bäume, führen zu

Fehlern bei der Zuordnung homologer Bildpunkte und somit zu Interpolationsfehlern im DOM (SCHIEWE 2001).

### 3 Digitales Objekthöhenmodell (OHM)

Um flächendeckende Informationen über die Vegetationsarchitektur zu erhalten, wurde ein Digitales Objekthöhenmodell (OHM) erstellt, welches die Höhen der aufragenden Objekte (z.B. von Baumgruppen und Gebäuden) über der Bodenoberfläche angibt.

Auf der Grundlage des RGB-Orthophotos und des DOMs wurden z.B. auf Straßen und Ackerflächen manuell Bodenpunkte gesetzt und diesen die Koordinaten (x, y) sowie die Höhen (z) aus dem DOM zugewiesen. Die Bodenpunkte sollten in einiger Entfernung von aufragenden Objekten (z.B. Gebäuden) liegen und relativ gleichmäßig verteilt sein. Ungünstig für die Auswahl der Bodenpunkte erweisen sich zusammenhängende Waldgebiete und Schattenbereiche.

Im Anschluss daran erfolgte nach der Inverse-Distance-Methode die Interpolation eines geglätteten Digitalen Geländemodells (gDGM) zwischen den 12 nächsten Nachbarbodenpunkten auf Gitterbasis (GRID). Als Zwischenergebnis lag ein gDGM vor, welches die Bodenoberfläche hinreichend repräsentiert.

Aus der Subtraktion des gDGMs vom DOM wurde dann das Digitale Objekthöhenmodell (OHM) ermittelt.

Die Genauigkeit des ermittelten OHMs hängt direkt von der Qualität des gelieferten DOMs und der Bodenhöheninterpolation ab. Im Vergleich zur durchgeführten Laserdistanzmessung mit dem LaserAce 300 ergab sich zu den Gebäudehöhen aus dem OHM eine systematische Abweichung von 4,5%. Der durchschnittliche Höhenfehler für Gebäude (n = 16) lag bei 0,87 m. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass im Untersuchungsgebiet ausschließlich Gebäude mit Flachdächern vorhanden sind.

Es ist davon auszugehen, dass sich die technischen Möglichkeiten der automatisierten Generierung des DOMs weiter ver-

bessern werden und dieses als Grundlage für die Erstellung eines genaueren OHMs verwendet werden kann.

### 4 Automatisierte Bildinterpretation mit eCognition

Ziel der Bildinterpretation mit eCognition ist die automatisierte Erkennung der Vegetation als Grundlage für die Erfassung der Grünverteilung und Grünstruktur im Stadtgebiet. Bei dem Untersuchungsgebiet handelt es sich um einen 1350 m × 1000 m großen Ausschnitt der HRSC-A-Daten, in nahezu ebenem Gelände, mit heterogener Grünstruktur und unterschiedlichen spektralen Eigenschaften (siehe Abb. 3).

Der hohe Informationsgehalt, den ein einzelnes Pixel der HRSC-A-Daten besitzt, ist nicht mehr mit dem Charakter von Objekten oder Gebieten als Ganzes verknüpft, sondern mit einzelnen Komponenten der Objekte. Herkömmliche, auf statistischen Analysen beruhende und auf Pixelebene arbeitende Bildanalyseverfahren haben sich deshalb als ungeeignet erwiesen, Daten geometrisch hochauflösender Systeme zu bearbeiten, vgl. BLASCHKE (2000).

Mit der Software eCognition wurde für die Interpretation der multispektralen Orthophotodaten ein Programm verwendet, welches nicht mehr jedes Pixel einzeln ausgewertet, sondern auf multiskalärer Segmentierung in homogene Regionen und anschließender wissensbasierter Klassifizierung basiert (DEFINIENS AG 2001).

Als Bilddaten kamen die 4 multispektralen Kanäle des HRSC-A Systems, ein Vegetationsindex (NDVI) und das Digitale Objekthöhenmodell zum Einsatz. Die Rasterdaten wurden auf eine einheitliche Auflösung von 50 cm × 50 cm reduziert, womit eine erhebliche Verringerung des Rechenaufwandes erreicht werden konnte.

Als zusätzliche Information wurde das gerasterte Straßen- und Wegenetz aus den ALK-Ergänzungen des städtischen Katasteramtes in den Segmentierungsprozess integriert. Dieser thematische Layer führte zu einer eindeutigen Wegegenerierung und ver-

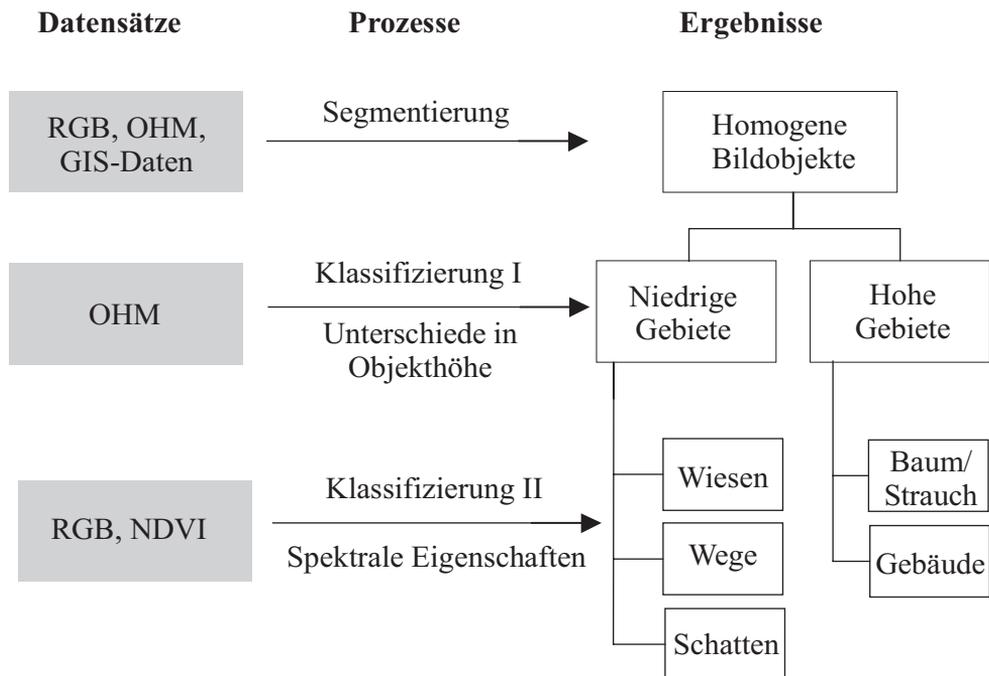


Abb. 2: Klassifikationsschema mit eCogniton.

besserte die Segmentierung von beschatteten bzw. durch Belaubung verdeckten Wegabschnitten.

Für die anschließende Klassifikation wurde eine Segmentierungsebene verwendet, die sowohl die Homogenisierung von großflächigen Objekten (Rasenflächen) als auch die Erfassung kleinräumiger Objekte (z.B. Baumgruppen) ermöglichte. Dabei ist die relativ zeitaufwändige manuelle Interaktion durch den Nutzer zur Festlegung der geforderten Segmentierungsparameter nicht zu unterschätzen.

Die Regelsätze für die Klassifikation wurden so einfach wie möglich gehalten, um einerseits den Arbeitsaufwand zu minimieren und andererseits ihre Übertragbarkeit auf andere Gebiete zu gewährleisten. Als erster Bearbeitungsschritt erfolgte eine Separierung in niedrige und hohe Gebiete mittels der Formulierung einer Zugehörigkeitsfunktion. Die Definition der Subklassen wurde anhand von repräsentativen Trainingsgebieten nach der Standard-Nearest-

Neighbour-Methode durchgeführt. Als Kriterien dienen die Multispektralwerte des NDVI und der RGB-Kanäle sowie des NIR-Kanals. Anschließend wurde mit Hilfe der Höhen aus dem OHM eine Differenzierung der Klasse „Baum/Strauch“ in verschiedene Höhenstufen (niedrige 1–7 m, mittlere 7–15 m, hohe Objekte 15–25 m) vorgenommen. Die Abb. 2 veranschaulicht das verwendete hierarchische Klassifikationsschema.

Die Klassifikationsgenauigkeit wurde anhand von unabhängigen Testgebieten untersucht. Problematisch zeigte sich die Klassifikation von Wegen in der Nähe hoher Gebäude, die aufgrund von systematischen Fehlern im DOM als Gebäude klassifiziert wurden. Die Gesamtgenauigkeit (overall accuracy) beträgt 92%, der Kappa Index of Agreement liegt bei 90%.

Die Abb. 4 verdeutlicht, dass die automatisierte Bildinterpretation der HRSC-A-Daten eine hohe Genauigkeit bei Unterscheidung von Vegetation und baulichen Anla-

gen erreicht. Größere, homogene Flächen (z.B. Rasenflächen) sind einfacher und präziser zu klassifizieren als heterogene Kleinobjekte (z.B. Einzelbäume). Eine eindeutige Zuweisung der Objekte in die verwaltungsspezifischen Pflegeeinheiten entsprechend des „Wolfsburger Modells“ ist mit der automatisierten Bildinterpretation nicht möglich. Dieser objektorientierte Ansatz eignet sich beispielsweise für die Analyse der Verteilung des Stadtgrüns. Das OHM unterstützt zudem die dreidimensionale Visualisierung der Vegetationsarchitektur. Weiterhin kann die automatisierte Bildinterpretation als Vorauswertung für die visuelle Bildinterpretation herangezogen werden.

Die Übertragbarkeit der entwickelten Klassifikationsregeln auf das gesamte Stadtgebiet ist dadurch begrenzt, dass sich die Diversität der spektralen Signaturen und Texturen pro betrachteter Flächeneinheit erhöht. Demzufolge wird das Klassifikationschema durch relativ zeitaufwändiges iteratives Vorgehen individuell anzupassen sein. Für eine flächendeckende und großräumige Anwendung der objekt-orientierten Bildverarbeitung in planerischen und organisatorischen Aufgaben müssen noch weitere Strategien zur operationellen Verarbeitung untersucht werden, vgl. BLASCHKE et al. (2002).

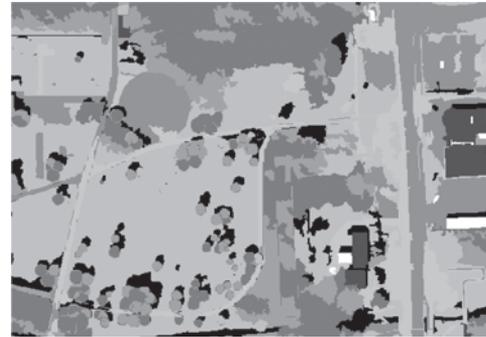
## 5 Visuelle Bildinterpretation

Die visuelle Bildinterpretation der originalen multispektralen Orthophotos erfolgte durch Digitalisierung am Bildschirm. Als Interpretationsschlüssel dienten die ca. 100 Pflegeeinheiten aus dem so genannten „Wolfsburger Modell“.

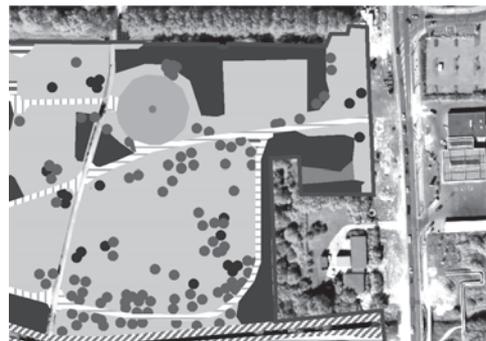
Von den 47 im Park vorhandenen Pflegeeinheiten konnten für 32% die Geometrien erfasst und die Sachdaten eindeutig zugeordnet werden. Dazu zählten vor allem großflächige oder hohe Objekte. Für weitere 40% konnten vom Bildschirm aus nur die Geometrien abgegrenzt werden. Pflege- und wachstumsbedingte Veränderungen der Vegetation im Jahresverlauf erschwerten die Zuweisung der Pflegeeinheiten mittels der visuellen Bildinterpretation. 28% der Pflegeeinheiten wurden nicht erkannt, wobei es



**Abb. 3:** Ausschnitt 280 m × 180 m aus dem RGB-Orthophoto der HRSC-A-Kamera, Stadtpark „Am Fischerdorf“ 19.05.2000.



**Abb. 4:** Automatisierte Bildinterpretation mit eCognition.



**Abb. 5:** Visuelle Bildinterpretation und terrestrische Ergänzungsinventur mit GPS-gestützter Kartierung.

sich überwiegend um Objekte mit geringer Höhe und/oder einer Ausdehnung von wenigen Pixel, wie z.B. Abfallbehälter, handelt.

Der Erfolg der visuellen Bildinterpretation (siehe Abb. 5) hängt von der Erfahrung des Interpreten und vom Aufnahmezeitpunkt der Bilddaten bezogen auf die phänologische Situation ab. Des Weiteren beeinflussen die lokalen Farb- und Formkontraste sowie die Größe bzw. Höhe der Objekte und der Anteil an beschatteten Bildelementen die Interpretation.

## 6 Mobile Datenerfassung mit GPS

Da bereits am Bildschirm einzelne Pflegeeinheiten der Grünflächen lagegetreu erfasst wurden, müssen die weiterhin erforderlichen Aufnahmen vor Ort nur punktuell durchgeführt werden. Dafür wurden ein Fujitsu Stylistic 1000 Pencomputer mit der GISPAD-Software und ein Leica GS50 GPS im DGPS-Modus verwendet.

Im städtischen Raum ist von schwierigen Messbedingungen auszugehen, da in der Nähe von Gebäuden und dichter Vegetation Mehrwegausbreitungseffekte sowie Abschattungen die Qualität des GPS-Signals reduzieren. Zur Überprüfung der Positionsgenauigkeit des GPS-Empfängers und der visuellen Bildinterpretation wurde eine vergleichende Referenzmessung mit dem Tachymeter durchgeführt. Die Positionsgenauigkeit von Punktobjekten beträgt mit dem Leica GS50 GPS-Empfänger durchschnittlich 1,2 m. Die Digitalisierung erreicht für Laubbäume während der Vegetationszeit Abweichungen von 1,1 m. Die durchschnittliche relative Flächengenauigkeit liegt für die GPS-Messung bei 9% und mit der visuellen Bildinterpretation bei 12%. Zu beachten ist, dass die relative Flächengenauigkeit von der Größe und Form eines Einzelpolygons abhängt (RESNIK 2002). Insbesondere kleine, schmale Objekte (z.B. Wege) weisen die größten Ungenauigkeiten auf. Falls die Kartierung außerhalb der Vegetationsperiode stattfindet, ist jeweils von einer leichten Verbesserung in der Messgenauigkeit auszugehen.

Mit Hilfe dieses mobilen GIS/GPS-Systems konnten

- der Aufwand für die terrestrische Vermessung der Geometrien wesentlich reduziert,
- eine komplexe Sachdatenerfassung über die Ausstattung der Grünflächen erreicht,
- Plausibilitätsprüfungen bereits im Feld durchgeführt sowie
- eine schnelle, digitale Datenübertragung gewährleistet werden.

Langfristig gesehen eignet sich die mobile Datenerfassung insbesondere für eine effiziente Inventur der Grünflächen und ihrer Ausstattung.

## 7 Schlussfolgerungen

Die steigende Nachfrage nach aktuellen und flächendeckenden sowie qualitativ hochwertigen Daten führt dazu, dass in Zukunft stärker Fernerkundungsdaten und mobile Geo-Informationssysteme für die Grünflächenerfassung eingesetzt werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass die automatisierte und visuelle Bildinterpretation in Kombination mit der mobilen GIS/GPS-gestützten Ergänzungsinventur Grünflächendaten in hinreichender räumlicher und zugleich inhaltlicher Auflösung liefern. Des Weiteren bietet die Möglichkeit der angemessenen Wiederholungsfrequenz, im Vergleich zu konventionellen Aufnahmemethoden, gute Chancen zur Fortführung der benötigten Flächendaten, bei gleichzeitiger Reduktion des Zeitaufwandes für die Datenfortschreibung.

Die visuelle Bildinterpretation erfasst zusammen mit der terrestrischen Inventur die verwaltungsrelevanten objekt- und raumbezogenen Daten für das Grünflächen-Informationssystem, während die automatisierte Bildinterpretation relevante Informationen für großmaßstäbige planerische, ökologische und stadtklimatische Fragestellungen liefern kann.

Zukünftig wäre die Übertragbarkeit der vorgestellten Methode sowie die Eignung der HRSC-A-Daten für die Erfassung von Stadtstrukturtypen, Versiegelungserhebun-

gen und Datenfortschreibungen in Form von Monitorings zu prüfen.

### Danksagung

Die verwendeten Datenprodukte der HRSC-A wurden freundlicherweise von der Abteilung Information und Kommunikation des Hauptamtes der Hansestadt Rostock zur Verfügung gestellt. Mein Dank gilt weiterhin der Abteilung Kataster des Kataster-, Vermessungs- und Liegenschaftsamtes der Hansestadt Rostock, für die Bereitstellung der Daten aus dem Automatisierten Liegenschaftskataster (ALK).

### Literatur

- BLASCHKE, TH., 2000: Ohne Salz und Pfeffer. – *GeoBIT/GIS*, **2**: 19–21.
- BLASCHKE, TH., GLÄßER, C. & LANG, S., 2002: Bildverarbeitung in einer integrierten GIS/Fernerkundungsumgebung – Trends und Konsequenzen. – In: BLASCHKE, TH. (Hrsg.): *Fernerkundung und GIS – Neue Sensoren, innovative Methoden*. – 1. Aufl., 1–8, Wichmann Verlag, Heidelberg.
- Definiens AG, 2001: *eCognition – Basic Concepts*. – 68 S., München, Version 2.1.
- HOFFMANN, A. & LEHMANN, F., 2000: *Vom Mars zur Erde – die erste digitale Orthobildkarte Berlin mit Daten der Kamera HRSC-A*. – *Kartographische Nachrichten*, **50** (2).
- HRSC-Team, 2002: *High Resolution Stereo-Camera-Airborne*, <http://solarsystem.dlr.de/FE/hrsc.html>
- RESNIK, B., 2002: *Praktische Untersuchungen zur Genauigkeit von Flächenermittlungen mit Handeld-GPS-Empfängern – AVN Allgemeine Vermessungs-Nachrichten*, **10**: 346–351, Heidelberg.
- SCHIEWE, J., 2001: *Ein Regionen-basiertes Verfahren zur Extraktion der Geländeoberfläche aus Digitalen Oberflächen-Modellen*. – *PFG*, **2001** (2): 81–90.
- SCHOLTEN, F., WEWEL, F. & SUJEW, S. (2001): *Ein-satz digitaler Kameras im Auflösungsbereich von 5 cm–1 m – Die neue HRSC-AX Kamera-generation in der geometrischen Analyse*. – *Publikation der DGPF*, **10**: 101–111, Konstanz.
- Ständige Konferenz der Gartenamtsleiter beim Deutschen Städtetag (GALK), 2002: *Leitfaden Grünflächeninformationssysteme* [http://www.galk.de/gris/If\\_kap2\\_3.htm](http://www.galk.de/gris/If_kap2_3.htm)

Anschrift der Autorin:

Dipl.-Ing. ANITA WEBNER  
 Universität Rostock  
 Institut für Geodäsie und Geoinformatik  
 Justus-von-Liebig-Weg 6, D-18059 Rostock  
 Tel.: 0381-4982 187, Fax: 0381-4982 188  
 e-mail: [igg@auf.uni-rostock.de](mailto:igg@auf.uni-rostock.de)

Manuskript eingereicht: März 2003

Angenommen: März 2003



## Georeferenzierung und Mosaikerstellung historischer Kartenwerke – Grundlage für digitale Zeitreihen zur Landschaftsanalyse

ULRICH WALZ & ALEXANDER BERGER, Dresden

**Keywords:** cartography, mapping land use change, environment protection, historic maps of Saxonia

**Zusammenfassung:** Im Rahmen von Forschungsarbeiten im Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. in Dresden, die sich mit dem Thema Landschaftswandel und dessen Auswirkungen auf die Umwelt befassen, sind für ein Untersuchungsgebiet in Sachsen digitale Zeitreihen der Flächennutzung aus historischen Kartenwerken von 1780 bis heute erstellt worden. Im Vordergrund des Beitrages stehen eine vergleichende Untersuchung unterschiedlicher Referenzierungsverfahren der historischen Karten sowie Lösungen methodisch-technischer Probleme der Georeferenzierung.

**Summary:** *Georeferencing and mosaicing of historical maps – Basis for digital time series for landscape analysis.* The background of this publication are research studies in the Institute of Ecological and Regional Development in Dresden to the theme of land use change and its effects to the environment. For this purposes digital time series of the land utilization were prepared for study areas in Saxony from historical maps since 1780 up to today. In the focus of this publication are a comparative study of different georeferencing methods and the solution of methodically – technical problems of georeferencing maps.

### 1 Zielstellung

Für die Aufbereitung und Auswertung von raumbezogenen Umweltinformationen und deren Integration in Planungsinstrumente sind die Werkzeuge von Geographischen Informationssystemen (GIS) Voraussetzung. Sie ermöglichen die komplexe Verarbeitung, Analyse und Präsentation einer Vielzahl von unterschiedlichen räumlich-thematischen Informationen. Mit Hilfe von GIS ist es insbesondere möglich, statistische und strukturelle Aussagen zur Entwicklung der freiraumbezogenen Flächennutzung auf effiziente Weise zu gewinnen. Die Entwicklung eines GIS-gestützten Landschaftsmonitorings schließlich ermöglicht es, langfristige Trends in der Entwicklung der Flächennutzung und ihrer umweltrelevanten Auswirkungen zu erkennen.

Für die Analyse der Entwicklung der Flächennutzung in einer Landschaft sind topographische Karten ein wichtiges Dokument, da sie systematisch, flächendeckend und über längere Zeiträume immer wieder erhoben wurden. Historische Kartenwerke sind daher die Grundlage für die Auswertung von quantitativen Entwicklungsverläufen und objektgenauen und lagegetreuen Aussagen zum Landschaftswandel.

Im Rahmen eines von der Europäischen Union geförderten Projektes zum Aufbau eines grenzüberschreitenden Nationalpark-Informationssystems (CSAPLOVICS & WALZ 2001) für die Sächsisch Böhmisches Schweiz wurde u.a. der Frage nachgegangen, welche historische Karten sich für eine Auswertung zum Landschaftswandel eignen und wie sie sich in ein solches digitales Informationssystem einbinden lassen. In diesem Beitrag soll

insbesondere über die Methodik und die Ergebnisse der Georeferenzierung berichtet werden.

## 2 Kartengrundlagen

Von den im Untersuchungsgebiet verwendeten Kartengrundlagen sollen hier nur die Sächsischen Meilenblätter sowie die Äquidistantenkarte kurz vorgestellt werden, da im Folgenden insbesondere auf diese beiden Kartenwerke eingegangen wird. Übersichten über weitere in Sachsen vorhandene historische Kartenwerke und Kartierzeiträume gibt beispielsweise WITSCHAS (2002).

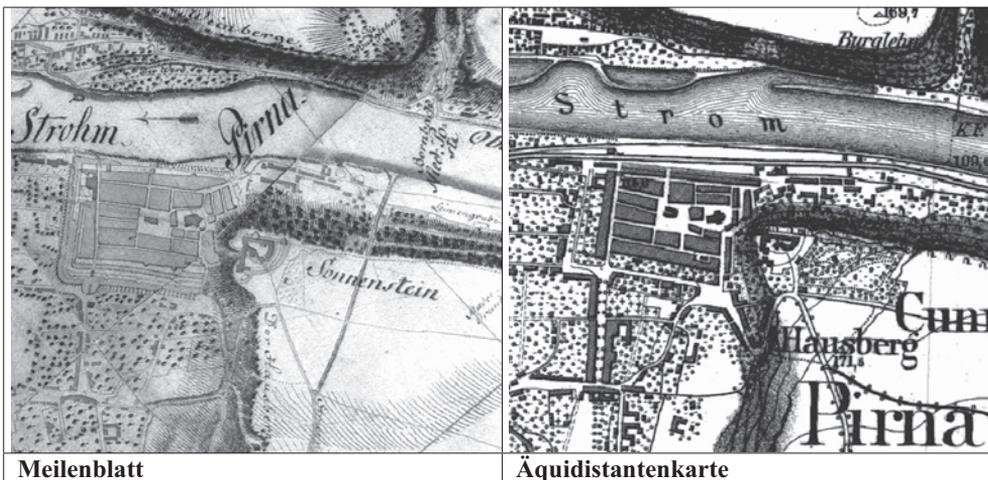
Die **Sächsischen Meilenblätter** entstanden gegen Ende des 18. Jh. (1780 bis 1826) im damaligen Kurfürstentum Sachsen als topographisches Landeskartenwerk, insbesondere für militärische Verwendungszwecke, aber auch für die Verwaltung (Straßen-, Wasser- und Bergbauwesen) (STAMS & STAMS 1981). Die Karten mit einem relativ groß gewählten Aufnahmemaßstab von 1:12.000 zeigen neben den Hauptnutzungsarten wie Waldungen und Wiesen eine sehr detaillierte Grundrissdarstellung mit dem vollständigen Wegenetz einschließlich Feldwegen und Fußsteigen, dem hydrographischen Netz mit Bächen und Abzugsgräben.

Im Komplex der Ortschaften wird, soweit es der Maßstab erlaubt, jedes einzelne Haus mit dazugehörigem Hofraum und Garten dargestellt. Das Relief ist durch Schraffen wiedergegeben (Abb. 1).

In den Jahren 1872 bis 1890 entstanden die **Äquidistantenkarten des Königreiches Sachsen** im Maßstab 1:25.000 auf Grund neuer Anforderungen von Wissenschaft und Technik (beispielsweise aus Sicht der Geologie) an ein topographisches Kartenwerk (BRUNNER 1996, Abb.1). Grundlage bildeten im Wesentlichen die Sächsischen Meilenblätter. Mit Hilfe gemessener Höhenpunkte wurden aus den Bergschraffen Höhenlinien (10 m-Äquidistanz) konstruiert. Dies geschah häuslich (und nicht angesichts des Geländes), was einige Mängel bei der Wiedergabe der Reliefformen bewirkte (TRETSCHKE 1921).

## 3 Probleme der Georeferenzierung und Lösungsansatz

Voraussetzung für die Anwendung von GIS-Methoden ist die digitale Aufbereitung der analog vorliegenden Kartenwerke durch Scannen, Georeferenzieren und Zusammenfügen der einzelnen Blätter. Üblicherweise werden Verfahren zur Georeferenzierung



**Abb. 1:** Mosaik der Sächsischen Meilenblätter und der Äquidistantenkarte – Ausschnitt Pirna. (Quelle Meilenblätter und Äquidistantenkarte: Sächsische Landes- und Universitätsbibliothek (SLUB) Kartensammlung.)

von Kartenwerken angewandt, die auch in der Bildverarbeitung, insbesondere der Referenzierung von Satellitenbilddaten Verwendung finden. Dabei werden Passpunkte in einer Referenz, meist aktuellen topographischen Karten und den zu referenzierenden Daten gesetzt. Im Anschluss daran erfolgt in der Regel eine Transformation mit einem Polynom  $x$ -ter Ordnung. Diese Vorgehensweise hat jedoch für eine nachfolgende Mosaikierung und Flächennutzungskartierung entscheidende Nachteile. Zum einen minimiert sie den Gesamtfehler über alle Passpunkte. Dadurch weist jeder Passpunkt auch nach der Referenzierung einen gewissen Lagefehler auf. Zum anderen führt diese Verfahrensweise dazu, dass die Ränder der einzelnen Kartenblätter unregelmäßig (konvexkonkav) verzerrt werden. Bei der anschließenden Erstellung eines Mosaiks können diese Randverzerrungen beispielsweise zu Sprüngen in Straßenverläufen führen. Im Extremfall wird durch die schlechte „Passung“ eine Mosaikerstellung nahezu unmöglich.

Diese in vorhergehenden Arbeiten (WALZ et al. 2001, NEUMANN 2002) gesammelten Erfahrungen führten zu der Überlegung, dass zunächst eine Grobreferenzierung der Karten auf das Gitter der Blattsnitte und eine anschließende Mosaikbildung erfolgen sollte. Sind interne Verzerrungen innerhalb der Kartenbilder vorhanden, können diese nach der Durchführung der Mosaikierung durch eine Feinreferenzierung ausgeglichen werden. Dafür sollten Transformationsmethoden, die an den Passpunkten exakt sind, untersucht und mit der Polynomial-Transformation verglichen werden (s. Abschnitt 3.3). Die exakte Lage einzelner Punkte ist für die anschließende Flächennutzungskartierung von besonderer Bedeutung.

### 3.1 Grobreferenzierung und Mosaikerstellung

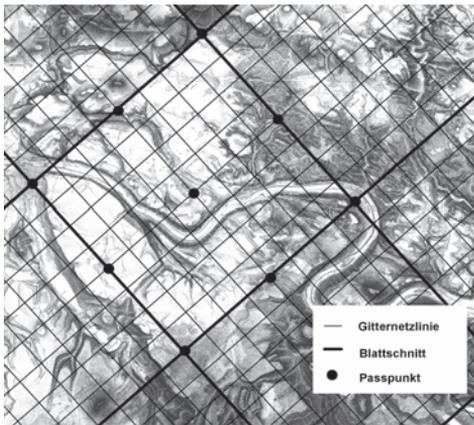
Für das gesamte Gebiet der Sächsischen Schweiz wurden zunächst für die Zeitschnitte um 1785 (Meilenblätter) und um 1880 (Äquidistantenkarte) flächendeckende Mosaike aus den einzelnen, digital vorliegenden

Kartenblättern hergestellt. Um die beschriebenen Verzerrungen an den Kartenrändern zu vermeiden, erfolgte dies in zwei Schritten: Zunächst wurde ein Gitternetz der Blattsnitte konstruiert, in das die einzelnen Kartenblätter mittels weniger Passpunkte „eingedreht“ werden konnten. Erst nach dem Zusammenfügen der Kartenblätter zu einem Mosaik wurde mit diesem die eigentliche Feinreferenzierung durchgeführt.

Im Falle der Äquidistantenkarten wurden zur Durchführung der Grobreferenzierung die geographischen Koordinaten der Eckpunkte der Karten mit Hilfe der Software ArcInfo in Gauß-Krüger-Koordinaten umgerechnet, die anschließend als Bezugspunkte für eine erste Entzerrung dienten.

Im Falle der Meilenblätter von 1780 musste eine andere Vorgehensweise entwickelt werden, da diesem Kartenwerk kein eindeutiges allgemeines Bezugssystem zu Grunde liegt und in Folge dessen auch keine Koordinaten angegeben werden. Allerdings wird innerhalb der Kartenblätter ein Gitternetz dargestellt, das zur Ableitung von Eckkoordinaten genutzt werden konnte. Die Vermessungsbasis der „Sächsischen Meilenblätter“ bildete nämlich eine Grundlinie auf der Ebenheit südwestlich von Pirna (ca. 4,2 km). Ausgehend von dieser Grundlinie wurde ein regelmäßiges (rechtwinkliges) Gitternetz mit einer Maschenweite von 1500 Ellen = 849,6 Meter aufgebaut. Das Kartenwerk ist daher nicht genordet, sondern um ca.  $42^\circ$  nach Westen verdreht. Dieses Gitternetz bildet die Grundlage des Blattsnittes und ist in jedem Kartenblatt eingezeichnet. Jedes Kartenblatt besteht aus 64 Quadranten dieses Netzes (Abb. 2). Zunächst wurde ein solches Gitternetz mit entsprechender Maschenweite konstruiert und anschließend eine Referenzierung der einzelnen Kartenblätter mit wenigen Passpunkten auf dieses Gitternetz durchgeführt.

Als Entzerrungsmethode für Meilenblätter und Äquidistantenkarten wurde die Transformationsart „Lineares Rubber Sheeting“ der Software ERDAS-Imagine genutzt, auf die im Folgenden noch weiter eingegangen wird. Durch dieses Verfahren, das noch nicht die endgültige Georeferenzie-



**Abb. 2:** Referenzierung der Meilenblätter auf ein Gitternetz zur Mosaikerstellung. (Quelle Meilenblätter: Sächsische Landes- und Universitätsbibliothek (SLUB) Kartensammlung.)

ung darstellt, wurden zum einen Verdrehungen, die während des Scanvorganges entstanden, ausgeglichen und zum anderen die Kartenränder entfernt. Die so entstandenen (grob-) referenzierten digitalen Kartenblätter konnten anschließend zu einem Mosaik der Äquidistantenkarten bzw. der Meilenblätter zusammen gefügt werden. In einem Kartenausschnitt der Meilenblätter im Bereich der Stadt Pirna, die genau auf dem Blattschnitt von vier Kartenblättern liegt, ist die im Ergebnis sehr gute Passfähigkeit der nach Nordosten ausgerichteten Blattschnitte zu erkennen (Abb. 1). In den Äquidistantenkarten treten allerdings größere Abweichungen an den Höhenlinien auf, was jedoch eher durch unterschiedliche Kartenbearbeiter und somit unterschiedlicher Genauigkeiten bei der nachträglichen Konstruktion der Höhenlinien (s.o.) begründet werden kann. Straßen- und Flussverläufe weisen dagegen keine bzw. nur sehr geringe Sprünge auf.

### 3.2 Feinreferenzierung des Mosaiks

Im Anschluss an die Erstellung der Mosaik erfolgte die Feinreferenzierung, bei der ein digitales Mosaik von topographischen Karten im Maßstab 1 : 25000 (TK25) als Referenzkarte für die Passpunktsuche diente.

Die Feinreferenzierung erschien notwendig, da ein Vergleich mit der Referenz starke innere Verzerrungen in beiden Mosaiken verdeutlichte. Diese beruhen vor allem auf:

- Vermessungsungenauigkeiten, insbesondere in stark reliefiertem Gelände;
- unterschiedlichen Generalisierungsgraden bzw. Maßstäben;
- unterschiedlichen Bezugssystemen.

Für das Mosaik der 10 Äquidistantenkarten wurden insgesamt 1362 Passpunkte gesetzt. Dies ergibt durchschnittlich 136 Passpunkte für eine Karte und somit für ein Gebiet von ca. 130 km<sup>2</sup>. Im Mosaik der Meilenblätter, welches aus 21 Karten besteht, wurden dagegen 1283 Passpunkte gesetzt. Da allerdings bei mehreren Karten der Kartenspiegel zum Großteil leer ist (Grenzregion), verteilen sich diese Passpunkte nur auf ca. 15 Karten. Damit ergeben sich pro Karte, die jeweils eine Fläche von 46 km<sup>2</sup> abdeckt, etwa 85 Passpunkte. Als übereinstimmende Punkte konnten vor allem Straßen- und Wegekrenzungen, Kirchen sowie zum Teil Brücken und Gehöfte gefunden werden. Die sehr hohe Anzahl an Passpunkten erschien notwendig, nachdem Testentzerrungen mit geringeren Punktzahlen durchgeführt wurden. Die Zwischenergebnisse zeigten unabhängig von der verwendeten Transformationsart noch deutliche Abweichung zur Referenz. Vor allem in Kartenbereichen mit starken Reliefunterschieden traten große Lageungenauigkeiten auf (z.B. Elbbogen Rathen – Wehlen, Sebnitztal), die nur durch eine hohe Verdichtung der Passpunkte zu verbessern waren. Insgesamt wurde versucht, die Passpunkte gleichmäßig über die Fläche zu verteilen, was jedoch beim Mosaik der Meilenblätter mangels geeigneter Passpunkte nicht immer möglich war.

### 3.3 Analyse unterschiedlicher Referenzierungsverfahren

Der Feinreferenzierung der Kartenmosaik wurde eine Untersuchung von drei verschiedenen Transformationsmethoden vorgestellt. Dies waren zum einen eine Polynom-Transformation dritter Ordnung und

zum anderen zwei Verfahren der maschenweisen Transformation, die in der Software ERDAS-Imagine als so genanntes „Rubber Sheeting“ implementiert sind. Dabei wird zunächst eine Dreiecksvermaschung aller Passpunkte durchgeführt (Delauny-Triangulation). Im Anschluss erfolgt in jeder Dreiecksfläche wahlweise eine lineare oder eine nichtlineare Transformation. Während bei der linearen Transformation (lineares Rubber Sheeting) jede Dreiecksfläche separat affin transformiert wird (maschenweise Affintransformation), werden bei der nichtlinearen Verfahrensweise (nichtlineares Rubber Sheeting) die Passpunkte der Nachbardreiecke in eine Polynomial-Funktion fünfter Ordnung einbezogen. Sowohl bei linearem als auch beim nichtlinearen Rubber Sheeting bleibt die Lage der Passpunkte bei der Transformation erhalten.

Zur Untersuchung der Transformationsarten wurde aus dem Mosaik der Meilenblätter und der Äquidistantenkarten je ein Ausschnitt gebildet. Mit den dazugehörigen Passpunkten (Meilenblätter 613, Äquidistantenkarten 665) erfolgten dann die Entzerrungen mittels der drei genannten Transformationsmethoden. Bei der Polynomial-Transformation lag dabei der RMS-Fehler im Fall der Meilenblätter bei 45 m und im Fall der Äquidistantenkarten bei 41 m. Zur Auswertung der Ergebnisse wurden anschließend Lageabweichungen zwischen Punkten in der Referenz (TK25) und Punkten in den Mosaiken gemessen (Tab. 1 und 2). Da bei den Transformationen mittels Rubber Sheeting keine Abweichungen an Passpunkten auftreten, war es notwendig Punkte zur Messung zu wählen, in deren näherer Umgebung sich keine Passpunkte befanden. Somit konnte eine Verfälschung der Messwerte vermieden werden.

Ein visueller Vergleich der Ergebnisse mit der Referenz und die Auswertung der Tabellen ergeben mehrere Erkenntnisse. Zum ersten kann festgestellt werden, dass sich in Bereichen einer nur geringen Passpunktverdichtung die Genauigkeiten innerhalb der passpunktfreien Flächen nur gering unterscheiden. Dies geht allerdings nur aus einer visuellen Beurteilung hervor, da in den grö-

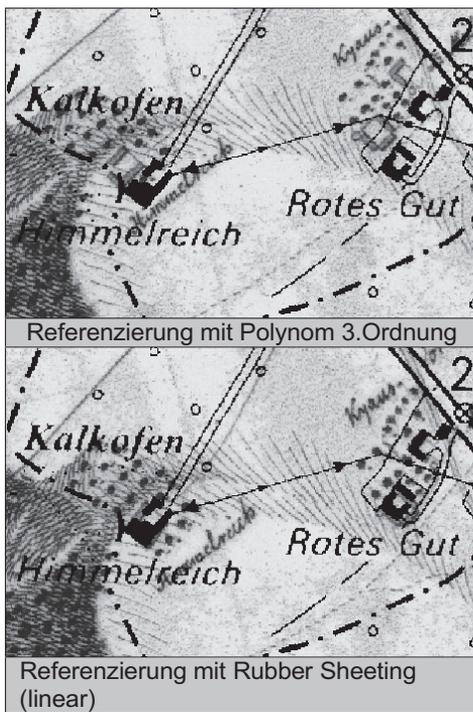
**Tab. 1:** Lageabweichungen von Punkten im Mosaik der Meilenblätter (in Meter).

	größter Wert	kleinster Wert	Mittel	Standardabweichung
Polynomial-Transformation 3. Ordnung	68	20	41,9	14,42
Rubber Sheeting nichtlinear	69	21	38,4	17,37
Rubber Sheeting linear	40	15	24	8,12

**Tab. 2:** Lageabweichungen von Punkten im Mosaik der Äquidistantenkarten (in Meter).

	größter Wert	kleinster Wert	Mittel	Standardabweichung
Polynomial-Transformation 3. Ordnung	75	25	46,7	16,6
Rubber Sheeting nichtlinear	25	17	20,2	3,52
Rubber Sheeting linear	30	15	20,4	5,04

ßeren Flächen ohne Passpunkte auch nur schwer Kontrollpunkte gefunden werden konnten. Zum zweiten wird deutlich, dass die Stärken der Entzerrungsmethoden des Rubber Sheeting in Bereichen gut verdichteter und gleichmäßig verteilter Passpunkte liegen. An den Passpunkten an sich treten keine Abweichungen auf (Abb. 3), zudem sorgt die exakte Lage der Punkte auch für deutlich geringere Abweichungen in passpunktfreien Flächen, als dies bei der Polynomial-Transformation der Fall ist. Die gemessenen Abweichungen der Tab. 1 und 2 geben dies wieder. Bedingung dafür sind aber gleichmäßig verteilte Punkte. An dieser Stelle unterscheiden sich noch einmal die Ergebnisse des linearen Rubber Sheeting vom nichtlinearen Rubber Sheeting. Aufgrund



**Abb. 3:** Vergleich der Entzerrungsmethoden an einem Ausschnitt der Sächsischen Meilenblätter (Berliner Exemplar) – überlagert mit dem Grundriss der TK25. (Quelle Meilenblätter: Sächsische Landes- und Universitätsbibliothek (SLUB) Kartensammlung.)

der teilweise ungleichmäßigen Verteilung der Passpunkte im Meilenblättermosaik entstanden während der Transformation sehr spitzwinklige, lang gestreckte Vermaschungsdreiecke. Die Anwendung einer nichtlinearen Entzerrung innerhalb dieser Dreiecke hat dann zur Folge, dass extreme Verzerrungen in den passpunktfreien Flächen auftreten können. Diese Verzerrungen spiegeln sich insbesondere im größten Wert und im Mittelwert der gemessenen Einzeldistanzen für das nichtlineare Rubber Sheeting wider (Tab. 1) und machen das Ergebnis einer Transformation mittels dieser Methode unbrauchbar. Im Falle der Äquidistanzenkarten treten solche Effekte durch bessere Passpunktverteilung nicht auf, sodass hier nichtlineares und lineares Rubber Sheeting ähnliche Ergebnisse liefern (Tab. 2).

Als ein wichtiger Vorteil der maschenweisen Transformation wie dem Rubber Sheeting, unabhängig ob linear oder nichtlinear, hat sich die Möglichkeit erwiesen, lokal begrenzte starke räumliche Verzerrungen zu korrigieren (vgl. HELLER 2002, BREUER & ALBERTZ 2000). An solchen Stellen treten in den Ergebnissen der Polynomial-Transformation sehr große Einzelabweichungen auf (Tab. 1 bzw. Tab. 2). Hier konnte durch gezieltes Setzen von Passpunkten und einer Transformation mittels Rubber Sheeting die Genauigkeit erhöht werden. Mit der Polynomial-Transformation alleine können solche Inhomogenitäten nicht ausgeglichen werden.

#### 4 Ergebnisse und Ausblick

Als Resultat der Untersuchungen kann festgehalten werden, dass Transformationsmethoden, die die Passpunkte unverändert lassen, wie die der maschenweisen Affintransformation, als am besten geeignet zur Georeferenzierung von historischen Kartenwerken erscheinen. Allerdings erfordern diese Verfahren eine hohe Anzahl an Passpunkten und somit einen erheblichen Arbeitsaufwand. Bezüglich der visuellen Übereinstimmung mit topographischen Elementen wie dem Gewässernetz, Straßen oder Ortschaften wurden gute Ergebnisse erzielt. Auch die rechnerischen Lagefehler von Kontrollpunkten sind deutlich besser als bei der Polynomial-Transformation. Ähnliche Ergebnisse weisen auch die Untersuchungen von HELLER (2002) auf. Treten lokale Kartenungenauigkeiten auf, wie dies gerade in historischen Karten häufig der Fall ist, so sind die Methoden der maschenweisen Transformation gut geeignet, um diese auszugleichen. Die Korrektur großer lokaler Inhomogenitäten kann allerdings zu Verzerrungen des Schriftbildes führen.

Als eine erfolgreiche Vorgehensweise zur Referenzierung und Mosaikierung hat sich eine Methode erwiesen, bei der nach einer ersten Grobreferenzierung der einzelnen Kartenblätter auf das Gitter der Blattsnitte die Karten zu einem Mosaik zusammengefügt werden und erst anschließend eine

Feinreferenzierung des Gesamtmosaiks erfolgt.

Auf der Basis der georeferenzierten historischen Karten werden derzeit digitale Vektorgeometrien der Landnutzung zu den einzelnen Zeitschnitten hergestellt. Die damit vorliegenden digitalen Zeitreihen zu Flächennutzung ermöglichen eine Reihe von Analysen, die in analoger Arbeitsweise kaum oder nicht durchführbar wären. Dazu gehören beispielsweise (vgl. NEUBERT & WALZ 2002, WALZ & SCHUMACHER 2003):

- zeitschnittbezogene Flächen- und Längenstatistiken der Nutzungsarten;
- die flächenkonkrete Ermittlung der Nutzungsänderungen über die Zeit;
- die Quantifizierung struktureller Veränderungen der Landschaft;
- die Untersuchung von Zusammenhängen zwischen Landschaftswandel und natürlichen oder anthropogenen Faktoren;
- die Überlagerung mit anderen thematischen Datenbeständen zur Visualisierung und Abfrage.

Insgesamt haben die Arbeiten zur Landschaftsentwicklung im Institut für ökologische Raumentwicklung in Dresden (IÖR) bisher gezeigt, dass es durchaus möglich ist, den Wandel der Flächennutzung über einen Zeitraum von etwa 200 Jahren mit der notwendigen Genauigkeit (flächenkonkret) nachzuvollziehen und digital aufzubereiten. Damit wird sowohl ein rascher visueller Vergleich für alle Zeitschnitte als auch die quantitative Analyse der Landnutzungsentwicklung ermöglicht.

## Literatur

- BREUER, M. & ALBERTZ, J., 2000: Geometric correction of airborne whiskbroom scanner imagery using hybrid auxiliary data. – *Int. Arch. Photogr. Remote Sens.*, **XXXIII**, Amsterdam.
- BRUNNER, H., 1996: Historische Landesvermessungen in Sachsen. – *Mitt. Landesverein Sächs. Heimatschutz*, **1996** (1): 2–13, Dresden.
- CSAPLOVICS, E. & WALZ, U., 2001: Spatial Information Systems for National Park regions (NPIS) in the Central European Space (CES) – GIS-concepts for monitoring and managing national park regions. – In: MANDER, Ü., PRINTSMANN, A. & PALANG, H. (Ed.): *Development of European Landscapes*. – *Publicationes Institutis Geographici Universitatis Tartuensis*, **92**: 433–437, Tartu.
- HELLER, A., 2002: Georeferenzierung von Alpenvereinskarten mit radialen Basisfunktionen. – In: STROBL, J., BLASCHKE, T. & GRIESEBNER, G. (Hrsg.): *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung*, **XIV**: 162–171, Heidelberg.
- NEUBERT, M. & WALZ, U., 2002: Auswertung historischer Kartenwerke für ein Landschaftsmonitoring. – In: STROBL, J., BLASCHKE, T. & GRIESEBNER, G. (Hrsg.): *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung*, **XIV**: 397–402, Heidelberg.
- NEUMANN, K., 2002: GIS-basierte Aufnahme und Analyse der Flächennutzungsentwicklung der Stadtregion Dresden von 1880 bis 1998. – 98 S. + Anlagen, Diplomarbeit, TU Dresden.
- STAMS, M. & STAMS, W., 1981: Die Große Topographische Landesaufnahme in Sachsen von 1780 bis 1811 und ihre Folgekarten. – *Sächs. Heimatblätter*, **27** (5): 197–212, Dresden.
- WALZ, U., NEUBERT, M., SCHUMACHER, U., WITSCHAS, S. & LANGE, A., 2001: Ableitung naturschutzfachlicher relevanter Flächeninformationen aus historischen Kartenwerken. Endbericht zur F&E-Studie. – 79 S., Dresden (unveröff.).
- WALZ, U. & SCHUMACHER, U., 2003: Flächennutzungsinformationen aus historischen Kartenwerken für die Freiraumentwicklung in Sachsen. – In: WOLLKOPF, H.F. (Hrsg.): *Historische Landnutzung im thüringisch-sächsisch-anhaltischen Raum*; Frankfurt a.M. (im Druck).
- WITSCHAS, S., 2002: Erinnerung an die Zukunft – sächsische historische Kartenwerke zeigen den Landschaftswandel. – *Kartographische Nachrichten*, **52** (3): 111–117, Bonn-Bad Godesberg.

Anschrift der Verfasser:

Dr. rer.nat. ULRICH WALZ  
Institut für ökologische Raumentwicklung e.V.,  
Weberplatz 1, D-01217 Dresden  
Tel.: 0351-4679-234, Fax: 0351-4679-212  
e-mail: u.walz@ioer.de

ALEXANDER BERGER  
Technische Universität Dresden  
Institut für Kartographie  
e-mail: berger.alex@gmx.de

Manuskript eingereicht: Januar 2003  
Angenommen: März 2003



## Berichte

### **ISPRS Technical Commission I Symposium vom 10. bis 15. November 2002 in Denver, Colorado, USA**

Das Symposium der Kommission I „*Sensors, Platforms and Imagery*“ war das vorletzte im Reigen aller „mid-term“ Symposien der sieben ISPRS-Kommissionen im Jahr 2002. Die Veranstaltung war eingebettet in eine große Konferenz, die unter dem Motto „*Integrating Remote Sensing at the Global, Regional and Local Scale*“ stand. Diese übergeordnete Konferenz umfasste neben dem ISPRS-Symposium noch

- die „*Pecora 15/Land Satellite Information Conference*“ der American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS)
- die „*Remote Sensing for Transportation Conference*“ des „US Department of Transportation“ und der NASA und
- das Symposium über „*Future Intelligent Earth Observing Satellites (FIEOS)*“, veranstaltet von zwei US-Universitäten in Verbindung mit WG I/4.

Die Zusammenlegung mehrerer Konferenzen zu einer Großveranstaltung führt natürlich zu einem umfangreichen und vielfältigen wissenschaftlichen Programm, ruft aber auch beim Teilnehmer Orientierungsschwierigkeiten hervor, wenn er sich zwischen 8 Parallelsitzungen entscheiden muss. Die Konferenz war von ca. 1000 Teilnehmern besucht; da es keine Teilnehmerlisten gab, lässt sich nicht sagen, wie viel davon auf das ISPRS-Symposium entfielen, ebenso wenig lässt sich angeben, aus welchen und wie viel Staaten die Teilnehmer kamen. Der Eindruck des Referenten war, dass die Mehrzahl zur „*Pecora 15/Land Satellite Information Conference*“, die auf eine fast 30-jährige Tradition zurückblicken kann, gekommen waren. Die meisten Teilnehmer waren deshalb US-Amerikaner; aus Deutschland kamen ca. 10 Teilnehmer.

Das ISPRS-Symposium in Verbindung mit dem FIEOS-Symposium trug mit ca. 1/3

zum Gesamtprogramm bei. Organisiert hatte das Symposium die ASPRS, vertreten durch Kommission I-Präsident STAN MORAIN und seine technische Sekretärin AMY BUDGE. Das letzte Mal, dass die USA die Kommission I geleitet hatte, lag 30 Jahre zurück und umfasste den Zeitraum von 1968 bis 1972. Im letzten Jahr dieser zurückliegenden Periode wurde der erste LANDSAT Satellit gestartet. Auch in der gegenwärtigen Periode (2000–2004) einer amerikanischen Präsidentschaft der Kommission I werden wieder wegweisende Meilensteine in der Satellitenfernerkundung durch den Start hoch auflösender kommerzieller Satellitensysteme gesetzt. Über den Konferenzort Denver ergibt sich außerdem ein Bezug zu diesen Satellitensystemen, da zwei dieser Firmen (Space Imaging und Digital Globe) ihren Sitz im Großraum Denver haben. Dadurch stand die Konferenz trotz eines weit gefächerten Programmangebots stark im Zeichen der hoch auflösenden Satellitensysteme. Dies wurde unterstrichen durch Exkursionen zu diesen Firmen und durch Präsentationen auf der gleichzeitig stattfindenden Industrieausstellung, von der die Besucher Bildbeispiele der hoch auflösenden Satellitenaufnahmen auf CD-ROM mit nach Hause nehmen konnten.

Die Eröffnungsrede für das Kommission I-Symposium wurde von GÉRARD BRACHET, der bis vor kurzem noch Generaldirektor der französischen Raumfahrtorganisation CNES war, gehalten. In seinen Ausführungen gab er einen Rückblick über die Entwicklungen der Satellitenfernerkundung in den letzten 30 Jahren von niedrig zu hoch auflösenden Systemen und von staatlich betriebenen zu rein kommerziellen Systemen mit allen Zwischenformen. Er ließ offen, welches die geeignetste Organisationsform sei; hierzu müsse die Marktentwicklung abgewartet werden. Er stellte fest: Probleme für kommerzielle Satellitenbetreiber, insbesondere hoch auflösender Systeme, ergeben sich immer dann, wenn in politischen Kri-

sensituationen nationale Regierungen dazu neigen, eine Aufnahmekontrolle (shutter control) auszuüben, die Firmen aber an einem möglichst wirtschaftlichen Datenvertrieb interessiert sind. Die Eröffnungsveranstaltung wurde abgerundet durch eine Präsentation der NASA-Astronautin MARY CLEAVE über das wissenschaftliche Erdbeobachtungsprogramm der NASA, für das sie jetzt bei NASA-Headquarters mitverantwortlich ist.

Mehrere „round table“ Diskussionsrunden beschäftigten sich mit den Marktchancen der Satelliten-Fernerkundungsindustrie. Das Ergebnis aller Runden lässt sich folgendermaßen zusammenfassen: Man ist froh, dass man jetzt, da es mehrere Firmen gibt, überhaupt von einer Industrie sprechen kann, aber das Überleben am Markt stark von Abnahmegarantien staatlicher Institutionen abhängt.

Zu den Industriefirmen zählen neben den rein kommerziellen Unternehmen Space Imaging (IKONOS) und Digital Globe (Quick Bird 2) auch die staatlich geförderten Unternehmen Image Sat (EROS-A1) aus Israel und Spot Image (SPOT-5) aus Frankreich. Man hatte den Eindruck, dass diese Firmen aufgrund der gegenwärtigen Existenz mehrerer politischer Krisengebiete wirtschaftlich im Aufwind sind. Dieser Eindruck wurde verstärkt durch die vorgezeigten hoch qualitativen Aufnahmen der Golfregion.

Neben den beeindruckenden Aufnahmen im 0,5–3 m Auflösungsbereich (IKONOS, Quick Bird, EROS-A1, SPOT-5) wurden von CNES/Spot Image zum ersten Mal die Stereoauswertemöglichkeiten von SPOT-5 demonstriert. Zugleich nutzte CNES die Konferenz dazu, ein gemeinsames Forschungsprogramm mit ISPRS zur „*Untersuchung des Potentials der HRS-Stereokamera auf SPOT-5 zur Erzeugung von Digitalen Geländemodellen*“ anzukündigen (siehe auch PFG 1/2003, S.73/74). CNES/Spot Image wird hierfür Originalbilddaten den teilnehmenden Wissenschaftlern zur Verfügung stellen. Voraussetzung zur Teilnahme ist, dass für die vorgeschlagenen Testgebiete Bodenkontrolldaten (Passpunkte, Digitale Ge-

ländemodelle) bereitgestellt werden können. Ein Aufruf zur Einreichung von Vorschlägen zu wissenschaftlichen Untersuchungen erfolgte per e-mail und durch Ankündigungen in Fachzeitschriften. Koordiniert wird das Programm von A. BAUDOIN (CNES) und M. SCHROEDER (ISPRS-WG I/2). Es wird angestrebt, die ersten Ergebnisse während des nächsten ISPRS-Kongresses in Istanbul 2004 zu präsentieren.

Das Programm des ISPRS-Symposiums umfasste zwölf Technische-, zwei Poster- und drei Allgemeine Sitzungen sowie mehrere Tutorials und Workshops, so dass auf jede der sechs Arbeitsgruppen der Kommission I mindestens zwei Sitzungen entfielen. Von allen Sitzungen befassten sich vier mit radiometrischer und geometrischer Kalibrierung, insbesondere von hoch auflösenden Satellitensensoren, zwei mit direkter Georeferenzierung von Flugzug- und Satellitendaten, eine Sitzung und ein Workshop mit Lidar Systemen, zwei Sitzungen mit neuen Satelliten- und Sensorsystemen sowie drei Sitzungen und ein Workshop mit digitalen Luftbildkameras. In den FIEOS-Sitzungen ging es im wesentlichen um *intelligente on-board-Datenprozessierung* für zukünftige Satellitenmissionen zur Katastrophenbeobachtung und -Warnung, sowie zur Verkehrsüberwachung.

Darüber hinaus hielt WG I/2 in Abstimmung mit Kommission I Präsident STAN MORAIN und ISPRS Secretary General IAN DOWMAN eine spezielle Sitzung zur Etablierung einer „*CEOS-ISPRS Joint Task Force on Radiometric and Geometric Calibration*“ ab. Ziel dieser Sitzung war es,

- die Kalibration/Validation Community über die Absichten von ISPRS und CEOS WG/CV zur Bildung einer gemeinsamen „Task Force on Radiometric and Geometric Calibration“ zu informieren
- das Aufgabengebiet dieser Task Force zu diskutieren und
- Kandidaten für den Vorsitz (Chair und Co-Chair) dieser Task Force auszuwählen.

Das Ergebnis dieser Sitzung war, dass zwei Mitarbeiter der NASA als potentielle

Leiter der Task Force identifiziert werden konnten. Sie benötigen allerdings noch die Zustimmung ihres „höheren“ Managements. Außerdem wurde es als wünschenswert erachtet, wenn die Aktivitäten aus entsprechenden NASA Programmen finanzielle Unterstützung erfahren könnten.

ISPRS-Council war auf der Veranstaltung durch seinen Präsidenten JOHN TRINDER und drei weitere Mitglieder vertreten, die zum großen Teil auch an den business-meetings der Kommission I und seiner WGs teilnahmen, in denen im wesentlichen die beabsichtigten Beiträge für den nächsten Kongress in Istanbul, aber auch die zukünftige Struktur der ISPRS diskutiert wurden. Wegen der Größe der Konferenz kam eigentlich nur in diesen internen Sitzungen die sonst übliche familiäre ISPRS-Atmosphäre auf. Deshalb ist zu wünschen, dass in Zukunft wieder kleinere Symposien abgehalten werden, bei denen auch Raum für „social events“ vorgesehen ist.

Die Konferenzberichte der Gesamtveranstaltung sind erhältlich auf CD-ROM von ASPRS.

MANFRED SCHROEDER, Oberpfaffenhofen

### **Videometrics VII 21.–22.1.2003 in Santa Clara, CA, USA**

Im Januar dieses Jahres fand in Santa Clara, USA die Konferenz „Videometrics VII“ statt. Seit 1992 bietet diese Veranstaltung für Forscher, Entwickler und Anwender aus den Bereichen Photogrammetrie und Computer Vision ein geeignetes Forum, um die neuesten Fortschritte der 3D-Messtechnik und 3D-Modellierung zu präsentieren. Während die ersten Videometrics-Konferenzen hauptsächlich auf Systeme und Algorithmen der präzisen 3D-Messtechnik fokussiert waren, ist der Inhalt der letzten Konferenzen wie auch bei der diesjährigen Veranstaltung zunehmend in Richtung 3D-Modellierung und Virtual Reality erweitert worden. An der Konferenz nahmen Experten aus insgesamt 13 Ländern teil, die über verschiedenste Themen wie Laserscanning,

Bewegungsanalyse, Oberflächenmessung mit bildgebenden und anderen Sensoren, Objektrekonstruktion sowie deren Visualisierung referierten.

Die insgesamt 30 Paper, welche in acht Technical Sessions und einer Poster Session präsentiert wurden, sind in den Proceedings zur Konferenz veröffentlicht und können bei der SPIE in gedruckter Form bezogen werden (SPIE Vol. 5013). Eine Herausgabe auf CD-ROM ist auch vorgesehen, allerdings waren die digitalen Proceedings zum Zeitpunkt der Konferenz noch nicht erhältlich.

Unter den Vorträgen gab es insgesamt vier Invited Paper, wovon sich eines mit Augmented Reality beschäftigte, zwei lieferten einen Überblick über jeweilige Entwicklungen in der Technik der Range Sensoren und in der Industriephotogrammetrie. Ein weiteres Invited Paper beschrieb den Aufbau eines digitalen Archives für Cultural Heritage. Ein großer Anteil der präsentierten Arbeiten beschäftigt sich mit der Objektmodellierung aus dichten dreidimensionalen Punktwolken, welche mittels Laserscanning oder Verfahren mit strukturiertem Licht gemessen werden. Es wurden Methoden vorgestellt, mit denen spezifische Objektparameter anhand der gemessenen Punktwolken extrahiert werden können. Hierbei ist es teilweise auch erforderlich, die Daten einzelner Aufnahmezeitpunkte in geeigneter Form zu fusionieren. Wird weiterführend eine möglichst realistische 3D-Visualisierung angestrebt, ist die Kombination mit zusätzlich aufgenommener Bildinformation sinnvoll zu lösen. Vor allem aus dem Bereich Cultural Heritage wurden hierzu einige eindrucksvolle Beispiele gezeigt. In einer Session wurde die Modellierung und Animation menschlicher Körper behandelt. Realtime Anwendungen sowie die Untersuchung von dynamischen Abläufen oder die Prozessierung von Bildsequenzen mit bewegtem Sensor wurden ebenfalls vorgestellt.

Neben den wissenschaftlichen Beiträgen präsentierten sich über 20 Firmen im Rahmen einer kommerziellen Ausstellung mit verschiedensten Produkten zur Bildakquisition, Bildverarbeitung und 3D-Visualisierung. Im Bereich der Sensortechnik wurden

hochauflösende CCD-Chips, Hochgeschwindigkeitskameras wie auch Kameras mit CMOS-Technik vorgestellt. An dieser Stelle muss jedoch angemerkt werden, dass die Ausstellung nicht den Umfang vergangener Jahre hatte.

Die Fortschritte und vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten, die auf der „Videometrics VII“ vorgestellt wurden, zeigen, was moderne 3D-Messtechnik heute zu leisten vermag und in welche Richtungen die Forschungsarbeiten vorangetrieben werden. Um weiter den regen Austausch zwischen Wissenschaftlern, Entwicklern und Anwendern in diesem Bereich zu ermöglichen, wird voraussichtlich im Januar 2005 wieder eine „Videometrics“ stattfinden, allerdings gibt es Überlegungen, den Veranstaltungsort zu wechseln.

JOCHEN WILLNEFF, Zürich

### **In Deutschland entwickeltes erstes geodätisches Observatorium für Südamerika wurde am 15. Januar 2003 in Concepcion, Chile, offiziell in Dienst gestellt**

**TIGO**, das **Transportable Integrierte Geodätische Observatorium**, das der Stabilisierung der ständigen Bestimmung der globalen Raumbezugssysteme auf der südlichen Hemisphäre dient, wurde am 15. Januar 2003 in Concepcion, Chile, offiziell eingeweiht. Es wurde nach dem Vorbild der vom Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG), Frankfurt am Main, in Wetzell im Bayerischen Wald betriebenen geodätischen Fundamentalstation gebaut und im Januar 2002 auf dem Gelände der Universität Concepcion, Chile, installiert. TIGO besteht aus hochempfindlichen high-tech Messgeräten (so z.B. aus einem Radioteleskop für geodätische Very Long Baseline Interferometry, einem Laserteleskop für Satellite Laser Ranging, einer GPS/Glonass-Permanentstation, den ersten international zertifizierten Atomuhren Chiles, einer meteorologischen Station, einem Seismometer zur Messung von Erdbeben sowie einem supraleitenden Gravimeter).

Die Ausstattung kostet ca. 12,5 Mio. €, die aus Mitteln des Bundes bezahlt wurden. Das wissenschaftliche Konzept der Fundamentalstation wurde Anfang der 80-er Jahre in einer aus dem DFG-Sonderforschungsbereich „Satellitengeodäsie“ hervorgegangenen Forschungsgruppe entwickelt.

Der chilenische Projektpartner, ein Konsortium aus der Universidad de Concepcion (Federführung), Universidad del Bio Bio, Universidad Catolica de la Santisima Concepcion und dem Instituto Geografico Militar, Santiago, wurde 1999 im Rahmen einer internationalen Ausschreibung unter 12 Bewerbern aus der südlichen Hemisphäre ausgewählt. Das Konsortium stellt neben der für die Operation von TIGO erforderlichen Infrastruktur und Logistik 11 technische Mitarbeiter. Das TIGO-Team – von drei deutschen Experten des BKG geleitet und unterstützt – hat bereits im Mai 2002 mit dem Probetrieb im Rahmen der internationalen geodätischen Dienste begonnen. Seitdem liefert sie erfolgreich den Rahmen für kontinentale, nationale, regionale und lokale geodätische Bezugssysteme, die mit höchstmöglicher Genauigkeit und Zuverlässigkeit zu realisieren sind.

Das geschah bisher nur auf der nördlichen Hemisphäre mit einer kleinen Anzahl verteilter Fundamentalstationen. Durch den koordinierten Einsatz der Fundamentalstationen lassen sich die ständigen Verformungen der Erde und Veränderungen der Lage der Erdrotationsachse erfassen, die durch die Gravitationswirkung von Mond, Sonne und Planeten sowie durch die Kräfte im Inneren der Erde und an seiner Oberfläche durch Reibung von Luft und Wasser verursacht werden.

Die Einweihungsfeier am 15. Januar 2003 aus Anlass der offiziellen Indienststellung von TIGO im Rahmen der internationalen geodätischen Dienste fand in Anwesenheit von Ministerialdirektor KLAUS-HENNING ROSEN vom Bundesministerium des Innern, einem Vertreter der deutschen Botschaft in Chile, dem Präsidenten der Region Bio Bio sowie des Präsidenten des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie, Prof. Dr. DIETMAR GRÜNREICH und dem Rektor der Uni-

versidad de Concepcion statt. Deutschland hat mit der Entwicklung und dem weltweit erstmaligen Einsatz dieses transportablen geodätischen Observatoriums seinen Beitrag zur Stabilisierung der globalen geodä-

tischen Bezugssysteme und zu den damit verbundenen internationalen Diensten wesentlich gesteigert.

MARTINA BOCK, Frankfurt am Main

## Hochschulnachrichten

### Hochschule Vechta

An der Hochschule Vechta habilitierte sich Dr.-Ing. **JOCHEN SCHIEWE** am 14.10.2002 für das Fachgebiet Umweltwissenschaften (Schwerpunkt Geoinformatik). Gutachter der Habilitationsschrift *„Auswertung hoch auflösender und multi-sensoraler Fernerkundungsdaten – Entwicklung von Methoden und Transfer in die Lehre“* waren Prof. Dr. **MANFRED EHLERS** (Hochschule Vechta), Prof. Dr. **RALF BILL** (Universität Rostock) und Prof. Dr. **CHRISTIAN HEIPKE** (Universität Hannover).

**Zusammenfassung:** Die Geoinformatik, die sich innerhalb der letzten 10 Jahre als eigenständige Disziplin etabliert hat, stellt inzwischen einen integralen Bestandteil in der modernen Informationsgesellschaft dar: Sie bietet die technologische und methodische Basis für die Erfassung, Archivierung, Nutzung, Verarbeitung und Präsentation raumbezogener Daten. Geo-Informationssysteme (GIS) sind daher heute auch nicht mehr nur in ihren traditionell assoziierten Disziplinen wie der Kartographie, Geodäsie oder Photogrammetrie anzutreffen, sondern besitzen auch in den Geo- und Biowissenschaften, der Informatik sowie in Umwelt-, Planungs- und Wirtschaftswissenschaften einen hohen Stellenwert.

Um den stetig steigenden Anforderungen der verschiedenen Disziplinen gerecht zu werden, ist eine ständige Qualitätsverbesserung hinsichtlich der aufgezeichneten raumbezogenen Daten sowie hieraus abgeleiteten Informationen notwendig. Eine wichtige Quelle zum Aufbau bzw. der Fortführung

von GIS-Datenbeständen stellen digitale Fernerkundungsdaten aufgrund ihrer potenziellen Aktualität, ihres geringen Generalisierungsgrades sowie ihrer großen Flächenleistung dar. In der jüngeren Vergangenheit sind weitere Einsatzgebiete für Fernerkundungsdaten durch die Verfügbarkeit höherer räumlicher Auflösungen von welt-raumgestützten Sensoren (z.B. Ikonos, QuickBird) sowie die Bereitstellung digitaler Luftbilddaten (z.B. HRSC-A, DMC, ADS) und simultan erfasster multi-sensoraler Daten (z.B. TopoSys II) erschlossen worden.

Mit diesen neuen Datenquellen steigen aber auch die Ansprüche an deren Auswertung. Der aktuelle Status entsprechender rechnerischer oder rechnergestützter *„Auswerteverfahren für räumlich hoch auflösende sowie multi-sensorale Fernerkundungsdaten“* muss allerdings derart charakterisiert werden, dass sich zuverlässige und operationelle Methoden insbesondere für Interpretationszwecke noch in der Entwicklungsphase befinden. Eine differenzierte Betrachtung wichtiger Auswerte-Komponenten sowie ihrer Verbindungen steht daher auch am Anfang des Forschungsteils dieser Arbeit. Hierauf aufbauend werden einzelne Elemente isoliert herausgegriffen und ein Beitrag zu ihrer Weiterentwicklung geleistet:

- Zuerst wird eine erweiterte Methode (*Classification on multiple Segment levels; ComS*) zur Interpretation von hoch auflösenden und multi-sensoralen Fernerkundungsdaten vorgestellt, die eine bisher nicht existierende, enge Verbindung zwischen konventionellen Klassifizierungs-

verfahren und neuen, multi-skaligen Segmentierungsansätzen herstellt.

- Ebenfalls mit einem neuartigen, Regionen-basierten Ansatz wird dem Problem der *Normalisierung von Digitalen Oberflächen-Modellen* (bzw. der Ableitung von Gelände-Oberflächen oder Objekthöhen) begegnet.
- Zur Abrundung der integrativen Sichtweise wird schließlich aufgezeigt, wie eine intelligente Verknüpfung mehrerer Auswertekomponenten zu einem *Methoden-Netzwerk* die Ergebnisqualität erhöhen kann bzw. wie eine solche Vernetzung praktisch realisiert werden sollte.

Die im ersten Teil dieser Arbeit beschriebenen aktuellen Fortschritte bei der Erfassung und Auswertung von Fernerkundungsdaten, die stellvertretend für die schnelle Entwicklung in der Geoinformatik angesehen werden können, leiten direkt über in die Notwendigkeit, dieses neue technische und methodische Wissen in den Aus- und Weiterbildungsbereich zu transferieren und aufgrund der relativ geringen Haltbarkeitsdauer ständig zu aktualisieren. In diesem Kontext werden – unterstützt durch schnellere Datenübertragungsraten sowie die Bereitstellung einfacher Mittel zur Generierung und Nutzung multimedialer Darstellungsformen – computerunterstützte Lehrformen als eine sinnvolle Realisierungsmöglichkeit angesehen. Im zweiten Teil der Arbeit werden daher auch anhand der *„Entwicklung von eLearning-Modulen zu aktuellen Themen der Fernerkundung“* die tatsächlichen Vor- und Nachteile dieser Lehrformen diskutieren. Hierfür werden zunächst generelle konzeptionelle Überlegungen präsentiert, die zu einem erweiterten *Netzwerk der mediendidaktischen Innovation* führen, das nicht nur inhaltliche und technische, sondern auch didaktisch-psychologische, organisatorisch-strategische sowie wirtschaftliche Aspekte berücksichtigt. Die einzelnen Komponenten dieses Netzwerkes werden exemplarisch für die Geoinformatik-Ausbildung an der Hochschule Vechta erläutert. Hierauf aufbauend werden eigene Module zu den bereits im fachlichen Teil behandelten Themen

- *Laserscanning*,
- *Stereoskopische Messung und Auswertung*, sowie
- *Segmentierungsverfahren in der Fernerkundung*

entwickelt und evaluiert, sowie Empfehlungen für die Generierung künftiger eLearning-Angebote abgeleitet.

Die Arbeit wird in Kürze in den *Materialien Umweltwissenschaften Vechta* (Kontakt: umwelt@iuw.uni-vechta.de) erscheinen.

### Hochschule Vechta

An der Hochschule Vechta wurde Dipl.-Geogr. **ULRICH MICHEL** am 11.09.2002 promoviert. Gutachter der Promotion *„Integration von Geographischen Informationssystemen und Fernerkundung zum automatisierten wissensbasierten Monitoring der Landnutzung“* waren Prof. Dr. M. EHLERS (Hochschule Vechta) und Prof. Dr. W. MAUSER (Universität München).

**Zusammenfassung:** Die vorliegende Dissertation hat ihren Schwerpunkt im Bereich der GIS/Fernerkundungsintegration für die Fragestellungen der automatisierten Klassifikation von Fernerkundungsdaten.

Innerhalb der multispektralen Satellitenbildauswertungen, die als Vorarbeit für Analysen der Veränderung von Landnutzungen notwendig sind, können die folgenden Probleme festgestellt werden:

- Die Erfassung von Trainingsgebieten nimmt sehr viel Zeit in Anspruch und wiederholt sich für die Auswertung von Satellitendaten verschiedener Aufnahmezeitpunkte.
- Das Verfahren der Klassifizierung muss für Satellitendaten verschiedener Aufnahmezeitpunkte wiederholt durchgeführt werden.

Aus der skizzierten Problemstellung ergab sich die Notwendigkeit, ein System zu entwickeln, das gestützt durch Geographische Informationssysteme Veränderungsanalysen innerhalb eines Monitoringzyklus automatisiert. Für ein multitemporales Monitoring von Satellitenfernerkundungsdaten

war es deshalb notwendig, einen systematischen Verfahrensablauf zu entwickeln, der es ermöglicht, vergleichbare Ergebnisse zu erzielen.

Außerdem waren Lösungen zu finden, die immer wiederkehrende Arbeitsschritte automatisieren. Es wurden Methoden entwickelt, die die Erhebung und vor allem die Nachführung von Landnutzungsinformationen unter Verwendung von Geographischen Informationssystemen und Methoden der Fernerkundung automatisieren. Die Arbeit präsentiert die Konzeption für ein solches System und verifiziert den gewählten Ansatz anhand repräsentativer Fallbeispiele.

Ein Schwerpunkt dieser Arbeit lag daher auf der Wiederverwendbarkeit von Arbeitsschritten der Datenvorverarbeitung (Entzerrung) und der Klassifikation von Fernerkundungsaufnahmen. Die folgenden Arbeitsschritte waren dazu notwendig. Es ist erforderlich, repräsentative Testgebiete auszuwählen und eine entsprechende Datengrundlage zusammenzustellen. Die Datenverarbeitung der verschiedenen Fernerkundungsaufnahmen (insbesondere Landsat 5 und 7) sowie anderer digitaler Informationen musste beschleunigt und für eine Wiederverwendung im Monitoringprozess aufgearbeitet werden. Zur Automatisierung des Monitoringprozesses musste die Geometrie der Trainingsgebietssignaturen so verändert werden, dass eine Wiederverwendbarkeit gewährleistet werden kann. Außerdem war es erforderlich, ein System zu entwickeln, das die möglichen Veränderungen einer Klasse bezogen auf ihre Semantik überprüfen kann.

Die Arbeit wird in Kürze in den *Materialien Umweltwissenschaften Vechta* (Kontakt: [umwelt@iuw.uni-vechta.de](mailto:umwelt@iuw.uni-vechta.de)) erscheinen.

### Technische Universität Wien

Herr Dipl.-Ing. **LIONEL DORFFNER** hat sein Doktoratstudium im Juni 2002 an der Fakultät für Technische Naturwissenschaften und Informatik der TU Wien mit der Dissertation „*Erzeugung von qualitativ hochwertigen 3D Photomodellen für internetbasierte Anwendungen mit besonderem Augen-*

*merk auf Objekte der Nahbereichsphotogrammetrie*“ zum Doktor der technischen Wissenschaften (Dr. techn.) abgeschlossen. 1. Begutachter: ao. Univ. Prof. Dr. JOSEF JANSA (Technische Universität Wien, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung); 2. Begutachter: Univ. Prof. Dr. WERNER PURGATHOFER (Technische Universität Wien, Institut für Computergraphik und Algorithmen).

**Kurzfassung:** Die Wissenschaft der Photogrammetrie befasst sich unter anderem mit der geometrischen Auswertung von photographischen Bildern. Wendet man photogrammetrische Methoden auf Objekte an, die sich in „geringer“ Entfernung zur Kamera befinden, so spricht man von Nahbereichsphotogrammetrie. Die klassische Zielsetzung liegt hier in der exakten Dokumentation einer Objektgeometrie.

In den letzten Jahren ist im Bereich der digitalen Nahbereichsphotogrammetrie ein neues Produkt entstanden, das 3D-Photomodell. Bei einem Photomodell handelt es sich um ein durch Vermessung entstandenes dreidimensionales Oberflächenmodell eines realen Objektes mit photographischer Textur. Ein solches Modell ist bestens geeignet, um einen übersichtlichen und detaillierten Eindruck einer bestehenden räumlichen Situation zu vermitteln.

Die Erstellung von Photomodellen erfolgt zurzeit ausschließlich interaktiv und größtenteils Punkt bezogen, was bei komplexen Objekten zu langen Auswertezeiten und hohen Produktionskosten führt. Ein weiteres Problem bei der Erzeugung von Photomodellen entsteht durch die Verwendung verschiedener, zum Teil an unterschiedlichen Tagen aufgenommener Bilder. Dadurch kommt es oft zu störenden Helligkeits- und Farbunterschieden zwischen den einzelnen Aufnahmen.

Der erste Schwerpunkt der Arbeit zeigt Wege auf, Photomodelle wirtschaftlich zu erstellen, ohne dabei sichtbare Qualitätseinbußen in geometrischer und radiometrischer Hinsicht in Kauf nehmen zu müssen. Werden 3D-Photomodelle interaktiv visualisiert, zeigt sich der große Vorteil gegenüber

statischen Bildern. Komplexe räumliche Sachverhalte können auch für unerfahrene Benutzer sehr anschaulich dargestellt werden.

Für diese interaktive Visualisierung werden im Rahmen dieser Arbeit keine eigenen Algorithmen für das Rendering entwickelt, sondern ausschließlich Standardwerkzeuge aus dem Umfeld der Internet-Technologien eingesetzt, mit dem Ziel Photomodelle auf einfache Weise einer breiten Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Ein solches Werkzeug ist zum Beispiel VRML (Virtual Reality Modeling Language), eine Beschreibungssprache für die interaktive Visualisierung von 3D-Daten im Internet. Mit der Darstellung im Format VRML eröffnet sich auch die Möglichkeit Links zu weiterführenden Sachinformationen im Photomodell zu verankern und so ein 3D Informationssystem im Internet zu schaffen. Dabei ist jedoch zu beachten, dass das Photomodell per Definition die maßstäbliche Nachbildung einer realen Umgebung sein soll. Dieser Umstand schließt – streng genommen – einige gängige Techniken zur Reduktion der Datenmenge aus. So werden etwa ähnliche Elemente des Modells nicht durch die Kopie eines Prototyps, sondern jeweils extra durch ihre eigentypische Geometrie und Phototextur dargestellt. Aus diesem Grund kann das Photomodell als vermessungstechnisches Produkt gesehen werden, dass sich für den Einsatz zur Dokumentation, Planung oder Simulation eignet.

Die interaktive Visualisierung des Photomodells für diese Anwendung bildet daher den zweiten Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit, wobei besonderes Augenmerk auf die Bewältigung großer Datenmengen gelegt wird.

Die Dissertation wird als Geowissenschaftliche Mitteilung, Heft Nr. 61, ISBN 3-9500791-6-5, veröffentlicht.

### Technische Universität Wien

Herr Dipl.-Ing. **KLAUS SCIPAL** hat sein Doktoratstudium im Juni 2002 an der Fakultät für Technische Naturwissenschaften und Informatik der TU Wien mit der Dissertation „*Global Soil Moisture Retrieval*

*from ERS Scatterometer Data*“ zum Doktor der technischen Wissenschaften (Dr. techn.) abgeschlossen.

1. Begutachter: Univ. Prof. Dr. **WOLFGANG WAGNER** (Technische Universität Wien, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung); 2. Begutachterin: Univ. Prof. Dr. **CHRISTIANE SCHMULLIUS** (Friedrich-Schiller-Universität Jena, Institut für Geographie – Abteilung Fernerkundung).

**Kurzfassung:** Bodenfeuchte ist eine wesentliche Komponente des globalen Ökosystems und übt einen wichtigen Einfluss auf die Wechselwirkungen zwischen der Hydrosphäre der Biosphäre und der Atmosphäre aus. Aufgrund der Bedeutung von Bodenfeuchte für alle bio- und geophysikalischen Prozesse, ist genaue Information über die Variabilität dieser geophysikalischen Größe für viele Bereiche wichtig. Im Gegensatz zu einer Vielzahl von geophysikalischen Größen wie Temperatur, Niederschlag oder Wind, die in hoher Präzision und Dichte gemessen werden, wird Bodenfeuchte nur von wenigen Messsysteme adäquat gemessen. Das Fehlen geeigneter Daten und Messsysteme wird von allen betroffenen Wissenschaften als großes Defizit gesehen. Der Entwicklung von neuen innovativen Methoden kommt daher größte Bedeutung zu. Fernerkundung, im Speziellen Radar-Fernerkundung, wird generell als möglicher Lösungsansatz gesehen.

Ziel dieser Arbeit war die globale Anwendung einer neuen innovativen Methode zur Beobachtung von Bodenfeuchte. Grundlage der Methode sind ERS Scatterometer Daten. Der ERS Scatterometer ist ein C-Band Radarsensor mit einer Auflösung von 50 km × 50 km der seit 1992 an Bord der Europäischen Fernerkundungssatelliten ERS-1 und ERS-2 die Erde beobachtet. Die Methode zur Analyse der Daten basiert auf einem empirischen Modell mit dem das grundlegende Streuverhalten der Erdoberfläche beschrieben wird und einem einfachen Change Detection Ansatz zur Ableitung der gesuchten Größen.

Die Methode, die über ausgewählten Gebieten entwickelt wurde, konnte erfolgreich global angewendet werden. Charakteristi-

sche Auswirkungen der einzelnen Klimate auf das Rückstreuverhalten wurden nachgewiesen. Die zur Beschreibung der Rückstreuungseigenschaften abgeleiteten Parameter zeigen eine klare Korrelation mit charakteristischen Klima und Vegetationszonen.

Basierend auf einer detaillierten Analyse der Rückstreuungseigenschaften, konnten problematische Konzepte in der Formulierung des zu Grunde liegenden physikalischen Modells aufgezeigt werden. Aufgrund dieser Studien ist eine Verbesserung der Methoden möglich. Die Validierung der abgeleiteten Bodenfeuchte ergab eine hohe Genauigkeit, der mittlere Fehler liegt im Bereich 5–7 Vol%. Die Daten eignen sich daher für eine Reihe von hydrosphärischen biosphärischen und atmosphärischen Anwendungen.

### Technische Universität Dresden

Am 20.12.2002 habilitierte sich Herr Dr. rer. nat. **GERT BEYER**, vormals Institut für Planetare Geodäsie, jetzt Institut für Geometrie, an der Fakultät Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften auf dem Gebiet *Mathematische Methoden der Geodatenverarbeitung* mit einer Schrift zum Thema *Wavelettransformation hybrider Geländemodelle*. Vorsitzender der Habilitationskommission: Prof. HANS-GERD MAAS (Dresden). Gutachter der Habilitationsschrift: Prof. SIEGFRIED MEIER (Dresden), Prof. WOLFGANG KELLER (Stuttgart), Prof. KARL KRAUS (Wien).

**Zusammenfassung:** Mit der Wavelettransformation eröffnen sich auch in der Geodatenverarbeitung völlig neue Technologien. Die Wavelettransformation ermöglicht unter anderem die Geländeanalyse auf der Basis der (eventuell komprimiert) in Form von Waveletkoeffizienten gespeicherten Daten, da die Waveletkoeffizienten wesentliche Signaleigenschaften des Geländes repräsentieren. Um diese Möglichkeiten effektiv zu nutzen, ist es erforderlich, die bestehenden Zusammenhänge zwischen Approximations-, Lokalisierungs- und Kompressionseigenschaft herauszuarbeiten.

Der Schwerpunkt der Untersuchungen wurde dabei auf hybride Geländemodelle

gelegt, die auf einem digitalen Höhenmodell (DHM) aufsetzen. Hybride Modelle werden hier als Mehrschichtenmodell verstanden, bei dem in den grundlegenden ersten beiden Schichten die reinen Höheninformationen (DHM, Rasterdaten, erste Schicht) und die reliefbezogenen Raumkurven (Vektordaten, zweite Schicht) gespeichert sind. Weitere Schichten sind zur Aufnahme raumbezogener Geo-Informationen gedacht.

Aus den sich daraus ergebenden Teilproblemen wurden insbesondere die Beschreibungsmöglichkeiten explizit gegebener Raumkurven für eine effektive Wavelettransformation, die transformationsgerechte Beschreibung von Raumkurven in hybriden DGM und Probleme der Kompressionsverfahren in Mehrschichtenmodellen untersucht. Wesentlich dabei ist die Anpassung der Datenstruktur der Geländekanten an die Datenstruktur der Geländefläche.

Weiterhin werden offene Fragen zum theoretischen Hintergrund der diskreten Wavelettransformation behandelt, wie die sachlich richtige Interpretation der Indizierung der Waveletkoeffizienten bei der Ausnutzung der Lokalisierungseigenschaft. Diese sind insbesondere für die Signalanalyse wichtig. Die Lokalisierung der Waveletkoeffizienten wird auf die Momente der Wavelets zurückgeführt. Schließlich wird als eine Anwendung der Waveletanalyse die Konstruktion von Höhen- und Gefälleanalysen direkt aus den Waveletkoeffizienten vorgestellt. Im Anhang finden sich einige spezielle Ergänzungen und Probleme, die nur ansatzweise diskutiert werden können und als Ausblick für weitere Untersuchungen dienen.

Die Arbeit wird bei der Deutschen Geodätischen Kommission, Reihe C, erscheinen.

### Fachhochschule Stuttgart Internationaler Master-Studiengang „Photogrammetry and Geoinformatics“

Hochschule für Technik akkreditiert  
Abschlussgrad Master of Science (MSc)

Mit der Unterzeichnung des so genannten Bologna-Abkommens im Jahre 1999 hat Deutschland erklärt, sich an der Harmoni-

sierung der europäischen Bildungssysteme zu beteiligen. Für die Hochschulen bedeutet das, dass sie ihre Studienprogramme und Studienabschlüsse internationalen Standards anpassen, also künftig berufsqualifizierende *Bachelor-Studiengänge* und weiterqualifizierende *Master-Studiengänge* anbieten werden.

International üblich ist es, und die Hochschulgesetze schreiben es vor, dass sich solche Studiengänge zur Qualitätssicherung in regelmäßigen Abständen nach vorgegebenen, strengen Kriterien einer Begutachtung durch eine unabhängige Kommission unterziehen müssen. Bei positiver Begutachtung eines Studiengangs spricht der Akkreditierungsrat, eingerichtet von der Kultusministerkonferenz und der Hochschulrektorenkonferenz, die Akkreditierung aus. Sie ist Voraussetzung für das Weiterbestehen des Studiengangs, gegebenenfalls können Auflagen ausgesprochen werden. Laut Beschluss der Kultusministerkonferenz zu den Strukturvorgaben für die Einführung von Bachelor- und Master-Studiengängen vom 5.3.1999 soll der Abschlussgrad akkreditierter Studiengänge nicht mehr nach dem Hochschultyp differenziert werden. Anstelle der institutionellen Zuordnung der Grade findet eine inhaltliche Differenzierung der Studiengänge nach zwei Profiltypen, den stärker anwendungsorientierten und stärker theorieorientierten Studiengängen statt.

Bereits im September 1999 hat der Fachbereich Vermessung und Geoinformatik der Fachhochschule Stuttgart – Hochschule für Technik mit dem postgradualen internationalen Master-Studiengang „Photogrammetry and Geoinformatics“ eines der ersten Masterprogramme in Baden-Württemberg gestartet. Der Kurs ist inzwischen äußerst erfolgreich etabliert. Für die 30 Studienplätze bewerben sich jährlich weit über 300 Interessierte aus Afrika, Asien, Europa und Südamerika. Zurzeit bearbeitet der dritte Kurs seine Master Thesen.

Im Sommersemester 2001 beschloss der Fachbereichsrat Vermessung und Geoinformatik die Akkreditierung zu beantragen und beauftragte eine Arbeitsgruppe unter

der Leitung des Studiengangleiters Prof. Dr. D. SCHRÖDER den Antrag zur Vorlage bei der Akkreditierungsagentur für Studiengänge der Ingenieurwissenschaften, der Informatik, der Naturwissenschaften und der Mathematik (ASIIN) vorzubereiten. Der umfangreiche Akkreditierungsantrag wurde im August 2002 bei der ASIIN eingereicht. Nach Prüfung fand bereits am 25. und 26. November 2002 durch eine externe Gutachtergruppe die Beurteilung der Hochschule und insbesondere des Studiengangs vor Ort statt. Der Gutachtergruppe gehörte jeweils ein Fachexperte aus drei deutschen Universitäten, der Ohio State University, USA, zwei Fachhochschulen, der Berufspraxis und ein studentischer Vertreter an. Weiterhin nahm ein Vertreter des Wirtschaftsministeriums Baden-Württemberg als Beobachter an der Begutachtung teil. Die Vorort-Begutachtung bestand im Kern in einem kritischen Dialog mit

- der Hochschulleitung bezüglich der Unterstützung des Studiengangs,
- den Studienprogramm-Verantwortlichen bezüglich Lehr- und Forschungsinhalte sowie Arbeitsmarktrelevanz,
- den Dozenten bezüglich Lehrinhalte und -methoden und der Qualifikation der Lehrenden,
- den Studierenden über die Studierbarkeit, den Studienverlauf und die Betreuung.

Mit der von der ASIIN und dem Akkreditierungsrat – der höchsten Instanz für die Akkreditierung von Studiengängen in Deutschland – ausgestellten Urkunde vom 13. Dezember 2002 wurde für den Master-Studiengang „Photogrammetry and Geoinformatics“ die Akkreditierung als stärker Theorie orientierter Studiengang ohne Auflagen ausgesprochen. Die Hochschule ist berechtigt, den Absolventen den akademischen Grad „Master of Science“ (MSc) zu verleihen (siehe auch PFG 7/2002, S. 519).

Prof. Dr.-Ing. HANS-JOACHIM MÖNICKE, Prodekan Fachbereich Vermessung, Informatik und Mathematik

## Mitteilungen der DGPF

### DGPF-Nachwuchsförderpreis

Der DGPF-Nachwuchsförderpreis (im Folgenden Förderpreis) ist ein Preis zur Förderung des wissenschaftlich – technischen Nachwuchses auf den Gebieten der Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation und ihrer Nachbarbereiche. Durch den Förderpreis sollen herausragende Diplom- und andere Studienarbeiten ideell gewürdigt, finanziell honoriert und einer größeren Öffentlichkeit bekannt gemacht werden. Außerdem wird die besondere fachliche Qualifikation der Preisträger herausgestellt.

Der Förderpreis besteht in drei Stufen jeweils aus einem Preisgeld und einer Urkunde, die jährlich im Rahmen der Wissenschaftlich-technischen Jahrestagung der DGPF öffentlich verliehen werden.

Die Arbeiten werden in Form eines Posters eingereicht und von einer unabhängigen Jury bewertet. Die Jury besteht aus

- dem Präsidenten der DGPF,
- dem Leiter des DGPF-Arbeitskreises „Ausbildung“ und
- einem Mitglied des wissenschaftlichen Beirates der DGPF oder einem Professor einer deutschen Hochschule.

Die Preisgelder betragen pro Förderpreis

1. Preis: € 1000.–
2. Preis: € 500.–
3. Preis: € 250.–

Teilnahmeberechtigt am Wettbewerb sind alle deutschen und ausländischen Studierenden der Fachrichtungen Vermessungswesen (Geodäsie), Geoinformatik, Geographie, Geologie, Informatik, Messtechnik und anderer technisch-naturwissenschaftlicher Studiengänge an einer deutschsprachigen Hochschule, in denen Diplom- oder andere Studienarbeiten zu den oben beschriebenen Themengebieten erarbeitet werden können. Studierende von Universitäten und Fachhochschulen nehmen gleichberechtigt am Wettbewerb teil.

Teilnahmebedingungen:

- Die eingereichten Arbeiten müssen eigenständig durchgeführte Forschungs-/Entwicklungsarbeiten darstellen.
- Die Arbeit ist in Form eines Posters zu präsentieren (1 Seite). Dabei ist auf eine außenwirksame, leicht verständliche Darstellung der technischen Inhalte zu achten. Das Poster ist für das Ausgabeformat DIN A1 zu konzipieren und im PDF-Format abzugeben.
- Dem Poster ist eine Kurzbeschreibung von einer Seite Umfang beizufügen, welche die wesentlichen Inhalte und Ergebnisse der Arbeit beschreibt. Sämtliche Unterlagen sind mit Namen des Bewerbers, Hochschule, Fachrichtung und Anschriften zu versehen.
- Jeder eingereichten Arbeit ist eine Bewertung des betreuenden Hochschullehrers beizufügen, aus der die besondere Qualität der Arbeit hervorgeht.
- Alle Bewerbungsunterlagen sind in digitaler Form per e-mail oder auf CD einzureichen.
- Der Abschluss der Arbeiten darf nicht länger als ein Jahr zurückliegen.
- Zum Wettbewerb können Arbeiten von einzelnen Personen oder von Gruppen bis maximal drei Personen eingereicht werden.
- Die Arbeiten müssen bis zum 15. Juni eines Kalenderjahres beim Präsidenten der DGPF vorliegen:

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

c/o E F T A S Fernerkundung  
 Technologietransfer GmbH  
 Ostmarkstr. 92 , D-48145 Münster  
 e-mail: geschaeftsstelle@dgpf.de

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

Die Preisträger sowie die Kurzbeschreibungen der prämierten Arbeiten werden im

Organ der DGPF, der Zeitschrift Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation (PFG) und auf der Internet-Seite der DGPF [www.dgpf.de](http://www.dgpf.de) vorgestellt.

Weitere Auskünfte über den Wettbewerb erteilt der Leiter des Arbeitskreises „Ausbil-

dung“ Dr.-Ing. habil. JOCHEN SCHIEWE  
Hochschule Vechta  
Forschungszentrum für Geoinformatik und  
Fernerkundung (FZG)  
Postfach 1553, D-49364 Vechta  
e-mail: [jschiewe@fzg.uni-vechta.de](mailto:jschiewe@fzg.uni-vechta.de)

## Buchbesprechungen

STROBL, JOSEF, BLASCHKE, THOMAS & GRIEBNER, GERALD, Hrsg. (2002): Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XIV. Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 2002. XII, 624 S., kartoniert. Hüthig Fachverlage, Im Weiher 10, 69121 Heidelberg, e-mail: [kundenservice@huethig.de](mailto:kundenservice@huethig.de). ISBN 3-87907-372-4.

Der Tagungsband zur AGIT 2002 spiegelt eindrucksvoll die Bandbreite an Anwendungen im Bereich von GIS wieder. Den Leser überraschen die Vielzahl der Themen und die Menge von verschiedenen Aufgabenstellungen, für die mittlerweile GIS eingesetzt werden. Genannt sei hier beispielsweise die erstmalige Nutzung für eine Terrainanalyse im alpinen Skisport. Sowohl GIS-Einsteiger als auch professionelle Anwender und Entwickler kommen auf ihre Kosten. Einsteiger bekommen einen guten Überblick über die Anwendungsfelder von GIS und ein großer Teil der Beiträge ist auch für sie verständlich lesbar. Erfahrene GIS-Anwender können sich gute Anregungen holen und ihre Kenntnisse vertiefen. Beispielsweise werden neue Verfahren zur Interpolation mit Berücksichtigung der dritten Dimension, neue Algorithmen für die Optimierung von Wegrouuten, neue Klassifizierungsansätze gestützt durch Graphentheorie oder die Integration heterogener Datenquellen für automatisierte Erstellung von ausschnittsbezogenen 3D-Modellen vorgestellt. Auch GIS-Entwickler profitieren von dem Buch durch die Beiträge mit richtungweisenden Inhalten z.B. zur Standardisierung von

Metadaten oder Implementierungen nach der Web-Map-Service-Specification (WMS) des OGC.

Die Beiträge beziehen sich auf Anwendungen aus dem gesamten deutschsprachigen Raum. 42% der Beiträge sind aus Deutschland, 22% aus Österreich, 5% aus der Schweiz, 14% aus dem nicht deutschsprachigen Ausland und EU sowie 17% ohne Angabe eines Ortes, also ohne konkretes Anwendungsbeispiel. Diese Zahlen bestätigen den Trend, dass sich die AGIT zur Plattform im deutschsprachigen Raum entwickelt hat.

Während sich ca. 90% aller Beiträge um GIS drehen, sind etwa 20% auch mit der Thematik Fernerkundung beschäftigt. Einige davon behandeln nur die Auswertung von Fernerkundungsergebnissen. Bemerkenswert ist der hohe Anteil an Arbeiten, die in den Bereich der Verwaltung fallen (58%). Die Nutzung von GIS im Business (13%) fällt vergleichsweise gering aus. 20% aller Beiträge entspringen wissenschaftlichen Aufgabenstellungen, bei denen der Anwendungsbezug teilweise noch fehlt, jedoch oft in der Einleitung und im Ausblick mit aufgezeigt wird.

Als Trends in der GIS-Nutzung können die Bereiche Raumordnung, Flächennutzungs-, Landschaftsplanung und Landschaftsanalyse mit 30% aller Beiträge und der Umwelt- und Artenschutz mit 16% angesehen werden. Hervorzuheben sind auch Normung, Verkehr sowie 3D-Visualisierung und DGM mit je 10%. Wenig vertreten sind Land-, Forst-, Energiewirtschaft, Sport und

Marktforschung mit je nur 1 bis 2 Beiträgen. Weitere Themengebiete sind Wasserwirtschaft, Katastrophenmanagement, Lehrmodule, Tourismus, Metadatenmanagement, Atlanten und Visualisierung, Stadt- und Bebauungsplanung sowie Historische Karten. Wesentlich ist auch die Tatsache, dass mittlerweile 20 % aller Beiträge das Thema Internet-GIS berühren. Damit wird gezeigt, dass der Trend hin zur Internetfähigkeit von GIS-Anwendungen weiter Bedeutung hat. Ein Beitrag zeigt Möglichkeiten für ein erfolgreiches E-Government mit Internet-GIS auf und gibt dabei gleich einen guten Überblick über Stufen der einsetzbaren Funktionalität und Technologien. Erfreulich ist auch die Umsetzung eines ersten deutschen Pilotprojektes zur Implementierung des WMS in der Praxis. Die Darstellung von kongruierenden Ansätzen wertet den Tagungsband zusätzlich auf und zeigt, dass die Geographische Informationsverarbeitung in einer breiten Front angewendet und erforscht wird.

Die Qualität der zahlreichen Abbildungen ist gut und das Layout der Beiträge einheitlich. Dadurch wird das Lesen der Beiträge erleichtert. Als Nachschlagewerk der dokumentierten Anwendungen in der geographischen Informationsverarbeitung wäre eine Ordnung in Themenbereiche ähnlich wie auf der Tagung sinnvoll. Der Band kann als sehr empfehlenswert bezeichnet werden, da er in eindrucksvoller Art und Weise ein Stück der Geschichte in der Entwicklung der GI beschreibt.

PETER KORDUAN, Rostock

THOMAS LUHMANN, (Hrsg.), 2002: Nahbereichsphotogrammetrie in der Praxis. Beispiele und Problemlösungen. IX, 318 S., kartoniert. Hüthig Fachverlage, Im Weiher 10, 69121 Heidelberg, e-mail: kundenservice@huethig.de. ISBN 3-87907-385-6.

Das im Folgenden besprochene Buch ist ein Ergänzungsband des im Jahre 2000 erschienenen und sehr erfolgreichen Lehrbuchs

„Nahbereichsphotogrammetrie“ von Thomas Luhmann (Wichmann Verlag, 2000). Da der Herausgeber Themen aus einem möglichst weiten Anwendungsspektrum der Nahbereichsphotogrammetrie darstellen wollte, hat er im ersten Band auf die Beschreibung praktischer Anwendungen größtenteils verzichtet und nun das Buch „Nahbereichsphotogrammetrie in der Praxis“ (Wichmann Verlag, 2002) herausgegeben, welches ausschließlich Projektbeispiele und Problemlösungen enthält. Thomas Luhmanns Ziel war es, die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten der Nahbereichsphotogrammetrie und der optischen 3D-Messtechnik in kompakter, einheitlicher und verständlicher Weise darzustellen.

Um ein möglichst weites Gebiet der Anwendungsmöglichkeiten abzudecken, enthält das Buch eine Sammlung von Beiträgen verschiedenster Autoren. Jeder Beitrag ist dabei in einer ähnlichen Art und Weise präsentiert, wodurch ein schnelles Erfassen verschiedenster Applikationen ermöglicht wird. Die bildhafte und tabellarische Darstellung der einzelnen Projektbeispiele wurde gegenüber Textpassagen dabei in den Vordergrund gestellt.

Die Sammlung der über 70 Beiträge ist in 6 verschiedene Themenbereiche gegliedert: Architektur, Archäologie und Denkmalpflege (26), Ingenieurbau (6), Industrielle Messtechnik (24), Medizin (3), Naturwissenschaften (7) und Sonderanwendungen (10).

Die Beispiele stammen in erster Linie aus dem Bereich der klassischen Aufgaben der Nahbereichsphotogrammetrie. So gibt es eine grosse Anzahl von Beispielen zur 3D-Gebäudemodellierung für anschließende Auswertearbeiten, sowie einige Anwendungen aus den Bereichen Automobilbau, Produktionskontrolle und Deformationsmessungen. Auch einige exotische Anwendungen werden vorgestellt, wie zum Beispiel die Beobachtung einer 3D-Blattbewegung, des Wachstums eines Pflanzenblattes, die photogrammetrische Erfassung des Zweigsystems einer Baumkrone sowie die optische Erfassung der Wellenbewegungen einer Wasseroberfläche. Einige wenige Beispiele befassen

sich mit der Auswertung mittels eines 3D-Laserscanners.

Das Buch bietet einen leicht verständlichen Überblick über eine Vielzahl von Applikationen, in welchen die Nahbereichsphotogrammetrie zur Anwendung kommt. Der Herausgeber legt dabei keinen Anspruch auf Vollständigkeit oder Ausgewogenheit. Dabei kommen die Beiträge in erster Linie von Firmen und Institutionen aus Deutschland. Da das Buch eine so große Anzahl an Beispielen beinhaltet, kann in den einzelnen Projektbeiträgen nur eine grobe Übersicht gegeben werden. Berücksichtigt werden unter anderem eine knappe Erörterung der Problemstellung, Angaben über die Aufnahmekonfiguration, die Anordnung der Sensoren, das Auswertesystem und erreichte Genauigkeiten. Für detailliertere Informationen werden Kontaktadressen und weiterführende Literaturhinweise angegeben, die größtenteils neueren Datums sind.

Das Buch richtet sich in erster Linie an eine Zielgruppe von Anwendern aus dem beruflichen Umfeld ohne tiefgehende Fachkenntnisse, die Anregungen für Lösungen konkreter Fragestellungen suchen. Für sie enthält das Buch in leicht verständlicher Weise wertvolle Lösungsansätze. Es bietet aber auch eine gute Grundlage für all diejenigen, die einen Einblick in das weite Anwendungsfeld der Nahbereichsphotogrammetrie bekommen wollen. Somit ist das Ziel des Experimentes erreicht, mit Hilfe von vielen Beteiligten die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten der Nahbereichsphotogrammetrie und der optischen 3D-Messtechnik nach einem einheitlichen, kompakten und leicht verständlichen Gesamtkonzept darzustellen.

MARKUS NIEDEROEST & KIRSTEN WOLFF,  
Zürich

## Vorankündigungen

### 2003

27.–29. Juni: **ISPRS, WG VII/4, 4<sup>th</sup> 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.: +36-1-301-40 52, Fax: +36-1-301-47 19, e-mail: gabor.remetey@fvm.hu

30. Juni–11. Juli: **23<sup>rd</sup> IUGG General Assembly IUGG 2003** in **Sapporo**, Japan. Auskünfte durch: Sekretariat Tel.: +81-468 66-5541, e-mail: IUGG\_service@jamstec.go.jp, www.jamstec.go.jp/jamstec-e/iugg/index.html

1.-3. Juli: **ISPRS WG V/4 und IC WG V/III Workshop „Vision Techniques for Digital Architectural and Archaeological Archives“** in **Ancona**, Italien. Auskünfte durch: Hirofumi Chikatsu, Chair WG V/4, e-mail: chikatsu@g.den-dai.ac.jp und Gabriele Fangi, Co-Chair WG V/4, Tel.: +39-71-220 47 42, Fax: +39-71-220 47 29, e-mail: fangi@pop.csi.unian.it und fangi@mta01.unian.it, www.ing.uni-an.it/strutture/fimet/fangi/workshopisprs2003/workshopisprs2003.htm

9.–11. Juli: **ISPRS WG II/3, IV/2 und IV/4 Joint Workshop on „Advances in Spatial Data Infrastructures & Database Interoperability“** in **Southampton**, UK. Auskünfte durch: Dr. David Holland, Co-chair WG IV/4, Tel.: +44-23-80 79-28 08, Fax: +44-23-80 79-20 78, e-mail: dholland@ordsvy.gov.uk

- 10./11. Juli: **ISEIS 2003 Annual Conference on Systems Science and Information Technology for Environmental Applications in Regina**, Kanada. Auskünfte durch: Prof. Dr. Gordon Huang, Tel.: +1-306-585-4095, Fax: +1-306-585-4855, e-mail: gorddon.huang@uregina.ca, www.iseis.org
- 16.–18. Juli: **Second International Workshop on the Multi-Temporal Remote Sensing Images (MultiTemp-2003) in Ispra**, Italien. Auskünfte durch: MultiTemp-2003 Workshop Secretariat, Tel.: +39-332-78 52 79, Fax: +39-332-78 98 03, e-mail: multitemp-2003@jrc.it
- 16.–18. Juli: **ISPRS WG III/2 & III/8 Workshop „From surface reconstruction to 3D scene analysis in digital imagery: Theory, applications and evaluation“** in Paris. Auskünfte durch: Nicolas Paparoditis, Chair WG III/8, Tel.: +33-143 988 392, Fax: +33-143 988 581, e-mail: nicolas.papaoditis@ign.fr
- 21.–25. Juli: **International Geoscience and Remote Sensing Symposium IEEE/IGARSS 2003** in Toulouse, Frankreich. Auskünfte durch: Dr. Bill Emery, e-mail: Emery@frodo.colorado.edu, www.ewh.ieee.org/soc/grss/igarss.html oder: Mrs. Christine Correcher, Tel.: +33-5-6128-2388, Fax: +33-5-6128-2939, e-mail: christine.correcher@cnes.fr, igarss03@colloquium.fr http://www.igarss03.com/
- 21.–25. Juli: **Cambridge Conference for National Mapping Organisations** in Cambridge, UK. Auskünfte durch: e-mail: cambridge2003@ordsvy.gov.uk und www.ordnance-survey.co.uk/cambridge
- 8.–10. August: **ISPRS IC WG II/IV 4<sup>th</sup> Joint ICA/ISPRS/EuroGeographics Workshop on Incremental Updating and Versioning of Spatial Data Bases in Durban**, Südafrika. Auskünfte durch: Dr. Ammatzia Peled, Co-chair IC WG II/IV, Tel.: +972-4-8-240-148, Fax: +972-4-8-249-605, e-mail: peled@geo.haifa.ac.il, CC: rjb@rjb-3d.com und Antony Cooper, Co-chair ICA WG on IU&V, e-mail: acooper@csir.co.za www.geo.haifa.ac.il/~icaupdt/meetings/dur-ban.htm
- 10.–16. August: **21<sup>st</sup> International Cartographic Conference & 12<sup>th</sup> General Assembly of the International Cartographic Association in Durban**, Südafrika. Auskünfte durch: ICC 2003, Tel.: +27-21-689 13 51, e-mail: icc2003@dla.gov.za, http://www.icc2003.gov.za
- 13.–16. August: **International Colloquium „Studying Land Use Effects in Coastal Zones with Remote Sensing and GIS“** in Kemer/Antalya, Türkei. Auskünfte durch: Chair: Dr. Garik Gutman, Land Cover-Land Use Change Program, NASA HQ, Code YS 300 E Street, SW-Room 5Q26 Washington, DC 20546, Tel.: +1-202-358-0276, Fax: +1-202-358-2770, e-mail: ggutman@hq.nasa.gov, http://lcluc.gsfc.nasa.gov/Chair: Prof. Dr. Derya Maktav, Istanbul Technical University (ITÜ), Faculty of Civil Engineering, Remote Sensing Dept., 80626 Maslak, Istanbul, Türkei, Tel.: +90-212-285 3808, Fax: +90-212-573 7027, e-mail: dmaktav@ins.itu.edu.tr, http://www.ins.itu.edu.tr/deryamaktav
- 18.–20. August: **4<sup>th</sup> Across-the-Strait Geomatics Conference** in Changchun, China. Auskünfte durch: Ms. JIANG Xiaohong, Tel.: +86-10-6833-9095, Fax: +86-10-6831-1564, e-mail: jiangxh@sbsm.gov.cn, www.ngcc.sbsm.gov.cn/haixiyantaohui.htm
- 18.–21. August: **Leica Geosystems GIS & Mapping's Annual User Group Meeting and Airborne Sensor Workshop** in Denver, CO, USA. Auskünfte: Tel.: +1-303-799 9453 ext.10, Fax: +1-303-799 4809, e-mail: info@gis.leica-geosystems.com
- 25.–27. August: **The 4<sup>th</sup> International Symposium on Mobile Mapping Technology „MMT 2003“** ISPRS Comm. I, WG II/1, II/2, IV/2, V/5 in Kunming, China. Auskünfte durch: Prof. Vincent Tao, Tel.: +1-416-

736-5221, Fax: +1-416-736-5817, e-mail: tao@yorku.ca oder: Prof. Gang Deng, Tel.: +86-871-514-4212, Fax: +86-871-519-8622, e-mail: iep@kmust.edu.cn, www.ucalgary.ca/~ctao oder: <http://www.geoict.net/mmt2003/index.htm>

29./30. August: **4<sup>th</sup> ISPRS Workshop on Dynamic and Multi-dimensional GIS 2003 (DMGIS 2003)** in **Enschede**, Niederlande. Auskünfte durch: Rolf de By, e-mail: deby@itc.nl und Wolfgang Kainz, Chair WG II/5, e-mail: w.kainz@univie.ac.at

1.–5. September: **49. Photogrammetrische Woche** im Institut für Photogrammetrie der Universität **Stuttgart**. Auskünfte durch: Konferenzsekretärin Martina Kroma, Geschwister-Scholl-Str. 24 D, D-70174 Stuttgart, Tel.: +49-711-121-3201, Fax: +49-711-121-3297, [www.ifp.uni-stuttgart.de](http://www.ifp.uni-stuttgart.de) e-mail: [martina.kroma@ifp.uni-stuttgart.de](mailto:martina.kroma@ifp.uni-stuttgart.de)

8.–9. September: **Joint Workshop of ISPRS WG IV/3, 6 & 7 Challenges in Geospatial Analysis, Integration and Visualization II** in **Stuttgart**. Abstract-Abgabetermin: 1.5.2003. Auskünfte durch Dr. Jochen Schiewe, Tel.: +49-4441-15558, Fax: +49-4441-15445, e-mail: [jschiewe@fzg.uni-vechta.de](mailto:jschiewe@fzg.uni-vechta.de), <http://www.iuw.uni-vechta.de/personal/geoinf/jochen/isprs03.htm>

8.–12. September: **SPIE's Remote Sensing Europe** in **Barcelona**. Auskünfte durch: SPIE, Tel.: +1-360-676-3290, Fax: +1-360-647-1445, e-mail: [spie@spie.org](mailto:spie@spie.org), <http://www.spie.org/>

9.–11. September: **23. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF** „Auf dem Weg zu operationellen Prozessketten in Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation“ in **Bochum**. Auskünfte durch: Dr. Klaus-Ulrich Komp, Präsident DGPF, e-mail: [Praesident@dgpf.de](mailto:Praesident@dgpf.de), Dr.-Ing. Manfred Wiggenhagen, Sekretär DGPF, e-mail: [Sekretaer@dgpf.de](mailto:Sekretaer@dgpf.de) und Prof. Dr.-Ing. Franz-Josef Heimes, FH Bo-

chum, FB Vermessung und Geoinformatik, Lennerhofstr. 140, 44801 Bochum, Tel.: 0234-3210517, Fax: 0234-3214223, e-mail: [franz-josef.heimes@fh-bochum.de](mailto:franz-josef.heimes@fh-bochum.de) und [www.dgpf.de](http://www.dgpf.de), [www.fh-bochum.de](http://www.fh-bochum.de)

10.–12. September: The **Annual Conference** of the Remote Sensing and Photogrammetric Society „**Scales and Dynamics in Observing the Environment**“ in **Nottingham**, UK. Auskünfte durch: RSPSoc Office, Tel.: +44-1159-515435, Fax: +44-1159-515249, e-mail: [rspsoc@nottingham.ac.uk](mailto:rspsoc@nottingham.ac.uk), [www.geog.nottingham.ac.uk/~rspsoc03](http://www.geog.nottingham.ac.uk/~rspsoc03)

14.–20. September: **6<sup>th</sup> International Symposium on Tropospheric Profiling „ISTP 2003: Needs & Technologies**“ in **Leipzig**. Auskünfte durch: Frau Ulla Wandinger, Tel.: +49-341-235-2154, Fax: +49-341-235-2361, e-mail: [istp@tropos.de](mailto:istp@tropos.de), <http://istp2003.tropos.de:8085/>

17.–19. September: **INTERGEO 2003** in **Hamburg**. Auskünfte durch: [www.dvw.de](http://www.dvw.de), [www.intergeo.de](http://www.intergeo.de) und [www.hinte-messe.de](http://www.hinte-messe.de)

17.–19. September: **ISPRS Joint Conference of WG II/IV, III/4, III/5, III/6 Photogrammetric Image Analysis (PIA'03)** in **München**. Auskünfte durch: Prof. Helmut Mayer, Tel.: +49-89-6004-3429/3455, Fax: +49-89-6004-4090, e-mail: [Helmut.Mayer@UniBw-Muenchen.de](mailto:Helmut.Mayer@UniBw-Muenchen.de) oder: [pia03@remotesensing-tum.de](mailto:pia03@remotesensing-tum.de) <http://serv.photo.verm.tu-muenchen.de/pia03> <http://www.remotesensing-tum.de/pia03>

22./23. September: **ISPRS WG I/5 Workshop „Theory, Technology and Realities of Inertial/GPS Sensor Orientation**“ in **Barcelona**. Auskünfte durch: WG I/5 Chair Prof. Karsten Jacobsen, Tel.: +49-511-762-2485, Fax: +49-511-762-2483, e-mail: [karsten@ipi.uni-hannover.de](mailto:karsten@ipi.uni-hannover.de)

22.–25. September: **6<sup>th</sup> Conference (ISPRS Comm.V, FIG, IAG) on „Optical 3D Measurement Techniques**“ in **Zürich**. Auskünfte

durch: Liliane Steinbrueckner, Tel.: +41-1-633-31 57, Fax: +41-1-633-11 01, e-mail: stein@geod.baug.ethz.ch, <http://www.Photogrammetry.ethz.ch/optical3d>

22.–27. September: **The European Academy of Forensic Science Third Triennial Meeting in Istanbul**, Türkei. Auskünfte durch: EAFS 2003, Tel.: +90-212-287-5800, Fax: +90-212-263-4581, e-mail: eafs2003@enfsi.org, [www.eafs2003.org/](http://www.eafs2003.org/)

23./24. September 2003: **AgA-Tagung** „Arbeitsgruppe Automation in der Kartographie der DGK“ beim Thüringer Landesvermessungsamt, Hohenwindenstraße 13a, in 99086 **Erfurt**. Nähere Hinweise incl. Aufruf zur Einreichung von Beiträgen: [www.ikg.uni-hannover.de/aga](http://www.ikg.uni-hannover.de/aga).

29. September–3. Oktober: 54<sup>th</sup> **International Astronautical Congress in Bremen**. Auskünfte durch: [www.iac2003.org/](http://www.iac2003.org/) und: 54<sup>th</sup> IAC Secretariat, Congress Office, ZARM, Uni of Bremen, Am Fallturm, 28359 Bremen, Tel.: 49-421-218 48 01, Fax: +49-421-218 25 21, e-mail: [congress@iac2003.org](mailto:congress@iac2003.org)

29. September–3. Oktober: **XXI Brazilian Cartographic Congress (CBC) in Belo Horizonte**, Brasilien. Auskünfte durch: Brazilian Cartographic Society, Tel.: +55-21-2240-6901, Fax: +55-21-2262-2823, e-mail: [sbc.rlk@terra.com.br](mailto:sbc.rlk@terra.com.br), [www.cartografia.org.br/](http://www.cartografia.org.br/)

30. September–4. Oktober: **CIPA Symposium „New Perspectives to Save Cultural Heritage“ in Antalya**, Türkei. Auskünfte durch: Symposium-Direktor Prof. Dr. Orhan Altan, Tel.: +90-212-285 38 10, Fax: +90-212-285 65 87, e-mail: [oaltan@itu.edu.tr](mailto:oaltan@itu.edu.tr), [www.cipa2003-antalya.org/](http://www.cipa2003-antalya.org/)

2./3. Oktober: **ISPRS Workshop WG IV/1 Spatial and Temporal Data Modelling: Specifications, standards, formalisms and other system design issues in Quebec**, Kanada. Auskünfte durch: Yvan Bédard, Chair WG IV/1, Tel.: +1-418-656-2131-3694, Fax: +1-

-418-656-3607, e-mail: [yvan.bedard@scg.ulaval.ca](mailto:yvan.bedard@scg.ulaval.ca), [www.commission4.isprs.org/wg1](http://www.commission4.isprs.org/wg1)

4.–9. Oktober: **„Polar Regions and Quaternary Climate“**. **EuroConference** on the Comparison of Ice Core Records with Marine Sediments and Climate Models in **San Feliu de Guixols**, Spanien. Auskünfte durch: H. Miller, Bemerhaven und Head of the EURESCO Unit, Dr. J. Hendekovic, European Science Foundation, 1 quai Lezay-Marnésia, F-67080 Strasbourg, Tel.: +33-3 88 76 71 35, Fax: +33-3 88 36 69 87, e-mail: [euresco@esf.org](mailto:euresco@esf.org), <http://www.esf.org/euresco>

6.–8. Oktober: **ISPRS WG I/2, I/5 & IC WG II/IV Workshop „High Resolution Mapping from Space 2003“ in Hannover**. Auskünfte durch: WG I/5 Chair Prof. Karsten Jacobsen, Tel.: +49-511-762-24 85, Fax: +49-511-762-24 83, e-mail: [karsten@ipi.uni-hannover.de](mailto:karsten@ipi.uni-hannover.de)

6.–10. Oktober: 4<sup>th</sup> **International Conference on 3-D Digital Imaging and Modeling in Banff**, Alberta, Kanada. Auskünfte durch: e-mail: [3dimconf@nrc.ca](mailto:3dimconf@nrc.ca), <http://www.3DIM.conference.org>

8.–10. Oktober: **ISPRS WG III/3 Workshop on Airborne Laserscanning 3-D Reconstruction from Airborne Laserscanner and InSAR data in Dresden**. Auskünfte durch: WG III/3 Co-Chair Prof. Hans-Gerd Maas, Tel.: +49-351-463-328 59/336 80, Fax: +49-351-463-372 66, e-mail: [hmaas@rcs.urz.tu-dresden.de](mailto:hmaas@rcs.urz.tu-dresden.de), <http://rcswww.urz.tu-dresden.de/~hmaas/hg-maas.html>

11.–16. Oktober: **„Achieving Climate Predictability using Paleoclimate Data“**. **EuroConference** on North Atlantic Climate Variability in **San Feliu de Guixols**, Spanien. Auskünfte durch: T. Stocker, Bern, M. Visbeck, Palisades und: Head of the EURESCO Unit, Dr. J. Hendekovic, European Science Foundation, 1 quai Lezay-Marnésia, F-67080 Strasbourg, Tel.: +33-3 88 76

71 35, Fax: +33-3 88 36 69 87, e-mail: euresco@esf.org, <http://www.esf.org/euresco>

15.–18. Oktober: **Meeting of ISPRS WG VI/3 „Geo-Information for Practice“** in **Zagreb**, Kroatien. Auskünfte durch: Ljerka Rasic, Tel.: +385-1-3657-386, Fax: +385-1-6157-389, e-mail: ljerka.rasic@dgu.tel.hr und WG VI/3 Chair: Ulrike Karin Rivet, e-mail: ulrike@eng.uct.ac.za

21./22. Oktober: **ISPRS Workshop WG VII/6 Monitoring and Modeling of Global Environmental Change – How to link Local with Global ?** in **Kyoto**. Auskünfte durch: Prof. Yoshifumi Yasuoka, Tel.: +81-3-5452-6409, Fax: +81-3-5452-6408, e-mail: yyasuoka@iis.u-tokyo.ac.jp

25.–30. Oktober: **ASPRS Workshop „Terrain Data: Applications and Visualization Making the Connection“** in **Charleston**, USA. Auskünfte durch: ASPRS, Tel.: +1-301-493-0290, Fax: +1-301-493-0208, e-mail: asprs@asprs.org, [www.asprs.org/asprs/meetings/calendar.html](http://www.asprs.org/asprs/meetings/calendar.html)

3.–7. November: **SEASC 2003 „From Compass & Pacing to Cyber Spacing-How does SE Asian Surveying Measure Up?“** in **Hong Kong**. Auskünfte durch: The Hong Kong Institute of Surveyors, Congress Secretariat, Fax: 852-2547-9528, e-mail: enquiry@seasc2003hk.org, [www.seasc2003hk.org](http://www.seasc2003hk.org)

3.–7. November: **ACRS 2003** in **Pusan**, Korea. Auskünfte durch: Prof. Choen Kim, Tel.: +82-2-910-4809, e-mail: ksr@kmu.kookmin.ac.kr, [www.aars-acrs.org](http://www.aars-acrs.org)

6./7. November: **International Symposium „Modern Technologies, Education & Professional Practice in the Globalized World“** in

**Sofia**, Bulgarien. Auskünfte durch: Prof. Dr. Eng. Georgi Milev, Tel.: +359-2-700-406, Fax: +359-2-720-841, e-mail: milev@bas.bg

10.–14. November: **30<sup>th</sup> International Symposium on Remote Sensing of Environment in Honolulu/Hawai**. Auskünfte durch: ISRSE, e-mail: isrse@email.arizona.edu, oder: Steve Brown, e-mail: brownie@ag.arizona.edu

14./15. November: **Architekturfotografie, analog und digital**. Weiterbildungs-Seminar des Instituts für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik (IAPG) der Fachhochschule **Oldenburg/ Ostfriesland/ Wilhelmshaven**. Auskünfte durch: FHS Oldenburg, Ofener Str. 16/19, 26121 Oldenburg, [www.fh-wilhelmshaven.de/oow/institute/iapg/seminare/](http://www.fh-wilhelmshaven.de/oow/institute/iapg/seminare/).

3.–5. Dezember: **ISPRS Joint Workshop WG II/5 & WG II/6 on Spatial Analysis and Decision Making in Hong Kong**. Auskünfte durch: Prof. Chen Jun, Pres. Com.II, e-mail: chenjun@nsdi.gov.cn oder: Rob Lemmens, Secr.WG II/5, e-mail: lemmens@itc.nl

9.–12. Dezember: **ISPRS WG VII/3 Workshop on Integrated Monitoring System in Thiruvananthapuram**, Indien. Auskünfte durch: Shailesh Nayak, Shair WG VII/3, Tel.: +91-79-691 41 41, Fax: +91-79-676 06 26, e-mail: snayakadl@snacharnet.in

13.–16. Dezember: **ISPRS WG I/4 International Conference on Advanced Remote Sensing for Earth Observation; Systems, Techniques and Applications in Riyadh**, Saudi-Arabien. Auskünfte durch: Dr. Raad A. Saleh, Tel.: +1-608-238-4825, e-mail: rsaleh@charter.net

## Zum Titelbild

### Luftbildkarte 1 : 1000



Der Neu- und Ausbau des Straßen- und Autobahnnetzes ist eine permanente staatliche Aufgabe zur Erhaltung und Verbesserung der Infrastruktur in Deutschland. Das Gesamtnetz der deutschen Autobahnen erreicht bis 2012 eine Gesamtlänge von rund 15 000 km, davon sind ca. 1/3 sechs- und mehrspurig.

Die effiziente Nutzung, Unterhaltung und Verbesserung des Straßennetzes erfordert eine umfassende Bestandsdokumentation. Bemühungen der Landesämter für Straßenbau und Verkehr, der Autobahnämter und Straßenbauämter der letzten Jahre haben zu einer generellen Vereinheitlichung der Datenstruktur und Darstellung der Bestandsdokumentation geführt.

Die Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) hat im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen unter Mitwirkung von Vertretern der Straßenbauverwaltungen der Länder, der Wissenschaft und Forschung sowie der Bauindustrie die „Richtlinie für die Anlage von Straßen, Teil: Vermessung“ (RAS-Verm), Ausgabe 1990 überarbeitet und als Ausgabe 2001 neu herausgegeben. Die RAS-Verm, Ausgabe 2001, ist als grundlegendes Regelwerk anzusehen. Bei

der Überarbeitung der RAS-Verm wurde der frühere Geltungsbereich für Entwurfsvermessung auf sämtliche vermessungstechnische Leistungen im Straßen- und Verkehrswesen erweitert und regelt nun den Bereich Straßenbestandsdokumentation mit. Die Voraussetzungen eines einheitlichen Datenflusses bei der Erarbeitung und Weitergabe von Vermessungsdaten aus Planung, Bau und Betrieb einer Straße bis zum Aufbau einer Straßenbestands-Dokumentation sind damit geschaffen worden.

Straßenbestandspläne enthalten eine zusammenfassende Darstellung aller baulichen Anlagen und ihrer Ausstattung im Zusammenhang mit der sie umgebenden topographischen Situation und den Katastergrenzen. Sie dokumentieren den aktuellen Bestand und stellen für die mit der Unterhaltung, dem Betrieb und der Verwaltung betrauten Dienststelle ein notwendiges Hilfsmittel zur sachgerechten Aufgabenerfüllung dar, nicht zuletzt tragen die Bestandspläne zur Verkehrssicherheit bei. Die digitalen Bestandsunterlagen gestatten eine effiziente Einarbeitung von Veränderungen/Laufenthaltung und sind Grundlage für weitere Um- und Ausbaumaßnahmen.

Die Erfassung der aktuellen Situation der Verkehrswege und der sie umgebenden Topographie in Bestandsplänen ist mit Hilfe photogrammetrischer Verfahren sehr effektiv möglich. Insbesondere die Herstellung von Orthophotokarten gestattet eine optimale Ausnutzung der hohen Dichte und Komplexität der Informationen in Luftbildern. Eine wichtige Rolle spielt die Übernahme der Bauausführungsunterlagen und die Erfassung von Detailinformationen durch örtliche Messungen und den Feldvergleich.

Für den Regelmaßstab der Bestandspläne 1:1000 erfolgt der Bildflug im Bildmaßstab 1:4000, die Scanauflösung der Luftbilder beträgt in der Regel 21 µm. Die photogrammetrische Lage- und Höhenauswertung erfolgt für den Autobahnbereich mit einer

Breite von mindestens 100 m rechts und links zum äußeren Fahrbahnrand. Darüber hinaus wird bis zum Planrand das DGM erfasst, welches gemeinsam mit den 3D-Daten der Auswertung zur Orthophoto-Berechnung verwendet wird. Auf der Grundlage der photogrammetrischen Auswertung (Rohplot) wird ein Feldvergleich durchgeführt und das Schachtkataster aufgenommen. In die photogrammetrischen Rohdaten werden schrittweise die weiteren Informationen übernommen, die Ergebnisse des Feldvergleiches, das Schacht- und Leitungskataster, die Achsdaten, die Regelprofildaten, die Bauausführungsunterlagen, Lage- und Höhenfestpunkte, Deckenbuchhöhen. Alle vorliegenden Unterlagen aus der Bauausführung sind auf die Betriebskilometrierung zu beziehen. Durch Ebenensteuerung und blattschnittgerechte Bearbeitung werden in der Regel Pläne im Maßstab 1:1000 mit den Inhalten: Grundriss, Höhe, Kataster, Entwässerung, Leitungen, Achse, Luftbild (Orthophoto) erstellt. Zusätzlich werden auch Kombipläne vorrangig Grundriss/Höhe, Grundriss/Kataster gefertigt. Die berechneten Orthophotos werden bezogen auf den Blattschnitt mosaikiert, georeferenziert und als Luftbildplan ausgegeben. Die Kombination aus Orthophotoplan mit Grundriss oder Orthophotoplan mit Kataster, auch als Luftbildkarte bezeichnet, ist zu einem fes-

ten Bestandteil der Straßenbestandsdokumentation geworden.

Die Daten sind als blattschnittfreier Gesamtdatenbestand im amtlichen Bezugssystem des jeweiligen Bundeslandes zu erfassen, sie sind so strukturiert, dass die Inhalte sachbezogen auf getrennten Ebenen abgelegt werden. Die Darstellung der graphischen Elemente ist bundesweit durch die Zeichenvorschrift der RAS-Verm geregelt. Die Ablage der Elemente auf den entsprechenden Ebenen und das Datenformat sind in länderspezifischen Richtlinien festgelegt.

Als CAD-Systeme kommen AutoCAD, CARD, Verbund, MicroStation und die zugehörigen Übergabeformate zur Anwendung. Mit Einführung des OKSTRA-Standards durch den BMVBW und dem damit verbundenen digitalen Datenaustausch auf Grundlage eines gemeinsamen Objektkataloges wurden weitere Vereinheitlichungen vorgenommen.

Das Titelbild zeigt einen Ausschnitt einer Luftbildkarte aus der Bestandsdokumentation der BAB A14 bei Halle/Peißen

#### **aphos Leipzig AG**

Prager Straße 17, D-04103 Leipzig  
Tel.: 0341-269 36 90, Fax: 0341-269 36 99  
e-mail: [info@aphos.de](mailto:info@aphos.de)  
Internet: <http://www.aphos.de>