

# PRG

# Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation

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

Jahrgang 2003, Heft 5

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 5

### Inhaltsverzeichnis

---

#### Originalbeiträge

KORDUAN, P., FÖRSTER, T. & OBST, R.: Unterwasser-Photogrammetrie zur 3D-Rekonstruktion des Schiffswracks „Darßer Kogge“ .....	373
TUFTE, L.: Automatisierte Bestimmung von Bearbeitungsskalen für die multi-skalige Auswertung von hoch auflösenden Fernerkundungsdaten .....	383
DREXEL, K.: Erfassung der Landnutzung und naturschutzrelevanter Flächen am Starnberger See und im Naturschutzgebiet Osterseen mit Hilfe von Hyperspektraldaten .....	395
MEINEL, G. & NEUMANN, K.: Flächennutzungsentwicklung der Stadtregion Dresden seit 1790 – Methodik und Ergebnisse eines Langzeit-Monitorings .....	409

#### Aus Wissenschaft und Technik

PEIPE, J. & SCHNEIDER, C.-T.: CCD oder CMOS – ein Praxisbericht .....	423
---	-----

---

#### Berichte und Mitteilungen

##### Berichte

ISPRS Workshop V/WG 6 in Tarasp-Vulpera, 24.–28. 2. 2003 .....	429
51. Deutscher Kartographentag in Bad Krozingen, 27.–31. 5. 2003 .....	429
Workshop „Traceability in Large Scale Metrology“ in Teddington, 5./6. 6. 2003 .....	431
4 <sup>th</sup> International Symposium „Remote Sensing of Urban Areas“ in Regensburg, 27.–29. 6. 2003 .....	433
InSAR Cartography Project of Venezuela .....	434
The Remote Sensing and Photogrammetry Society (RSPSoc)in UK .....	435
Neue Mitglieder der DGPF .....	436
Hochschulnachrichten	
Technische Universität Wien: M. Kerschner .....	436
ETH Zürich .....	437
Buchbesprechungen	
G. Chesi & T. Weinhold .....	438
N. Prechtel .....	438
M. Bauer .....	439
Vorankündigungen .....	441
Zum Titelbild .....	444



## Unterwasser-Photogrammetrie zur 3D-Rekonstruktion des Schiffswracks „Darßer Kogge“

PETER KORDUAN, THOMAS FÖRSTER & ROLAND OBST, Rostock

**Keywords:** underwater archaeology, ship wrack, underwater photogrammetry, medium refraction, 3D-modelling

**Summary:** *Underwater-Photogrammetry for 3D-Reconstruction of the Ship Wreck "Darßer Kogge"*. This article describes the photogrammetric documentation of the ship wrack "Darßer Kogge". A historical review gives information about the wrack which was found for the first time in 1977. Previous survey supplies two-dimensional plans and photo-mosaics. Problems with underwater photogrammetric measurements with plane camera port are discussed. Photographs taken with a dom-port camera were used for 3D-reconstruction of the ship hull.

**Zusammenfassung:** In diesem Beitrag wird die photogrammetrische Dokumentation für das Schiffswrack „Darßer Kogge“ beschrieben. Ein historischer Rückblick gibt Informationen über das Wrack, das 1977 gefunden wurde. Die ersten Vermessungen erbrachten zweidimensionale Pläne und Fotomosaik. Es folgt eine Problemdiskussion zur Anwendung der Unterwasser-Photogrammetrie mit planen Gehäusescheiben. Für die 3D-Rekonstruktion des Schiffskörpers wurde eine Dom-Port-Camera zur Aufnahme der Fotos eingesetzt.

---

### Einleitung

Die Dokumentation von Fundstellen spielt in der Archäologie seit jeher eine besondere Rolle. Durch die systematische archäologische Prospektion vor der Küste von Mecklenburg-Vorpommern konnten in der Ostsee seit 1989 über 750 Fundstellen lokalisiert werden, die bis zur politischen Wende für Forschungen kaum zugänglich waren. Bedingt durch die Erfordernisse einer aktiven Bodendenkmalpflege bildeten die Arbeiten an acht spätmittelalterlichen Schiffswracks und zwei Hafenanlagen den besonderen Schwerpunkt der Untersuchungen. Dazu gehört auch das Wrack einer Kogge, welches erstmalig in den 70iger Jahren von Rettungsschwimmern vor dem Darß entdeckt und grob dokumentiert wurde.

Systematische archäologische Untersuchungen an Schiffswracks und Hafenanlagen vor der Küste von Mecklenburg-Vorpommern erbrachten im letzten Jahrzehnt

zahlreiche neue Ergebnisse zum maritimen Alltagsleben und zum Seehandel des Spätmittelalters. Die im Rahmen von Grabungen geborgene Sachkultur ergänzt das vorhandene Quellenmaterial um wichtige Aspekte, so dass zusammen mit den Schrift- und Bildquellen ein sehr viel facettenreicher Einblick auf das Leben an Bord von spätmittelalterlichen Schiffen ermöglicht wird. Es lässt sich erkennen, dass das tägliche Leben auf See durch die Größe, die Aufgabe und das Fahrtgebiet des jeweiligen Seefahrzeugs geprägt sind. Diese Faktoren wirken sich auf die Ausrüstung des Schiffes, die Proviantierung und die persönliche Habe der Besatzung aus. Da die Fahrtstrecke, die eine Besatzung bewältigen musste, von besonderem Aussagewert ist, wird in der Betrachtung neben dem Schiff auch auf noch vorhandene Ladung ein Schwerpunkt der Untersuchungen gelegt.

In diesem Beitrag soll es jedoch um die konstruktiven Teile des Schiffes gehen. Mit

der Unterwasser-Photogrammetrie (UW-Photogrammetrie) wird eine Methode beschrieben, die im Bereich der Archäologie trotz der frühen Arbeiten (z. B. HÖHLE 1971) noch nicht weit verbreitet ist. Die noch dominierende Methode, die herkömmliche Vermessung von Wracks mit Messband, Hilfsgerüsten, Freihandzeichnungen und Bildmosaiken, ist zweidimensional. Aber gerade die Möglichkeit zur 3-dimensionalen berührungslosen Auswertung mit kurzen Messzeiten unter Wasser und der gleichzeitigen flächendeckenden Photodokumentation macht die Mehrbild-Photogrammetrie für die UW-Archäologie sehr interessant. Schnellere und flächendeckende Verfahren zur Dokumentation von Holzschiffen und -fundstücken in der südlichen Ostsee gewinnen auch durch den aus westlicher Richtung zunehmenden Befall der Wracks durch die Pfahlbohrmuschel „Teredo Navalis“ an Bedeutung.

Im Projekt „Monitoring, Safeguarding and Visualizing North-European Shipwreck Sites“ (MoSS) werden Möglichkeiten zur Nutzung von zukunftsweisenden Technologien für die Dokumentation und das Monitoring von Wracks und Fundstellen gesucht und durch das EU-Programm „Culture 2000“ gefördert. Die UW-Photogrammetrie spielt dabei eine wichtige Rolle. Besonders an Fundplätzen, an denen es die Sichtverhältnisse hergeben, kann die Photogrammetrie einen wichtigen Beitrag für eine effiziente und genaue Dokumentation von Wracks leisten. Um dies in der Praxis nachzuweisen, haben sich Wissenschaftler des Instituts für Geodäsie und Geoinformatik der Universität Rostock und ein UW-Photograph von der „Thüringer Allgemeinen“ im Sommer 2002 zusammen mit den Archäologen vom Amt für Bodendenkmalpflege MV aus Schwerin an den Ausgrabungen der Darßer Kogge vor Prerow beteiligt. Die dabei angestellten theoretischen Überlegungen, durchgeführten Arbeiten und erzielten Ergebnisse werden im Folgenden beschrieben.

Der Beitrag beginnt zunächst mit einer Einführung zu den bisher gewonnenen Erkenntnissen zur Darßer Kogge und beschreibt die bisherigen Dokumentationen

und Ausgrabungen. Im Abschnitt „UW-Photogrammetrie“ wird die Methode zur Datengewinnung beschrieben. Dabei werden die besonderen Bedingungen und Schwierigkeiten der Photogrammetrie unter Wasser und speziell bei der Darßer Kogge hervorgehoben. Eine Abhandlung über den Strahlenverlauf bei der Mehrmedien-Photogrammetrie, wie sie unter Wasser vorkommt, unterstreicht die Unterschiede zur terrestrischen Photogrammetrie. Der nächste Abschnitt beschäftigt sich mit der 3D-Rekonstruktion aus den gewonnenen UW-Aufnahmen. Dabei kam das Programm „Photo Modeler“ zur Anwendung. Die Abtastung der darzustellenden Bauelemente des Schiffes stellte sich auf Grund schlecht identifizierbarer homologer Punkte in den Bildpaaren als schwieriger Teil dar. Unter Zuhilfenahme der Kernlinien und der 3D-Ansicht konnte dennoch ein ansehnliches Ergebnis erzielt werden, welches im letzten Abschnitt vor der Zusammenfassung und dem Ausblick besprochen und abgebildet wird.

### Die Darßer Kogge

Für das ausgehende 13. Jahrhundert lässt sich mit einem Koggenfund vor dem Darß, MOHR (2001), eine Zunahme der Schiffsgrößen auch an der südwestlichen Ostseeküste belegen. Das mit einem flachen, kraweelen Schiffsboden, geklinkerten Seitenwänden und steilen Steven dem Typ der „Bremer Kogge von 1380“ entsprechende einmastige Schiff wurde nach 1293 gebaut, LAHN (1992). Einen Hinweis auf den möglichen Bauort liefern die verwendeten Eichen, die in dem Gebiet um Elbing gefällt wurden. Die Konstruktion der Kogge deutet darauf hin, dass durch die Städtegründungen der Hanse mit den eingewanderten Siedlern Schiffbautraditionen der friesischen Nordseeküste in die Ostsee Einzug fanden. Das 1 km vor der Küste gesunkene Schiff befindet sich in einem außerordentlich guten Erhaltungszustand. An dem Wrackfund sind neben der Kiel- und Stevenkonstruktion auch die Steuerbordseite fast komplett erhalten geblieben, FÖRSTER (2000). Der Fund

erlaubt dadurch wichtige Schlüsse zu vorhandenen Räumen an Bord. Das über 20 m lange Fahrzeug verfügte durch ein Deck und Aufbauten über geschlossene Räume zur Unterbringung der Besatzung, Schiffsausrüstung und Ladung. Die Mannschaftsstärke dürfte nach den Erfordernissen zur Bedienung dieser Schiffsgröße auf See mindestens zehn Personen umfasst haben.

Durch den Untergang in einem größeren Abstand zur Küste verblieben Reste der Ladung, die Ausrüstung und die persönliche Habe der Besatzung im Wrack. Die Küstenbevölkerung konnte wegen der Wassertiefe nicht an diese Gegenstände gelangen und auch die Brandung verlagerte das Inventar nicht. Das bereits geborgene und untersuchte Fundmaterial lässt einen bislang einzigartigen Blick in das Leben auf den Koggen zu.

Anhand der Ladung ist es ersichtlich, dass die Kogge vermutlich aus dem norwegischen Bergen an der Küste entlang ins heimische Elbing segelte und durch einen Schaden am Schiffskörper vor der Darßer Küste versank.

Zur wichtigen Ausrüstung der hansischen Seeleute zählte ein in der Kogge gefundenes Bleilot zur Tiefenmessung. Eine mit Wachs gefüllte Aussparung an der Unterseite des Lotes erlaubte darüber hinaus Untersu-

chungen zu den Sedimentverhältnissen am Seegrund. Durch häufige Nutzung ist die Unterseite des Lotes stark gestaucht. Zur Beleuchtung der geschlossenen Schiffsräume oder bei Nacht mag eine Laterne gedient haben, die aus einem ledernen Schlauch mit Holzboden besteht, der durch Bronzeringe ausgesteift war.

## Ausgrabung

Bei der ersten Dokumentation der Kogge 1977 durch Rettungsschwimmer wurde eine Handskizze angefertigt. Darin wurden in etwa die Form, die Breite, die Länge und die Richtung des Wracks angegeben sowie einzelne vorgefundene Details eingezeichnet. An Hand dieser Skizze und einer beigefügten schriftlichen Beschreibung des Zustandes lässt sich erkennen, dass in jüngster Zeit sehr viele Einzelteile durch anthropogene Einflüsse entfernt wurden oder durch den Seegang zerstört und abgetragen wurden. Auf Grund fehlenden Interesses der DDR-Administration und des allgemeinen Tauchverbotes in der Ostsee konnten keine genaueren Aufnahmen durchgeführt werden und an eine Ausgrabung war nicht zu denken. Erst nach der Wende kamen international übliche Techniken zur Aufnahme von Unterwasserwracks zur Anwendung.

Schon erste Unterwasser-archäologische Untersuchungen ergaben, dass die Darßer Kogge sehr gut erhalten ist. Der auf UW-Fotos aufgenommene Teil der Kogge, der aus dem Meeresboden herausragte, deutete darauf hin, dass die Steuerbordseite fast vollständig erhalten sein könnte. Diese Beobachtung konnte durch geophysikalische Meßmethoden, dem Sedimentsonar, bestätigt werden. Die Hülle, welche in einer Länge von 17 m und einer Breite von 8 m aus dem Meeresboden herausragt, ist in einer bis zu 1,5 m tiefen Sedimentschicht erhalten. Im August 2002 wurde die Steuerbordseite des Wracks vom Vorderstevan an bis zur Mittschiffssektion auf einer Höhe des dritten Schiffsbalkens und dem Mastfuß im Kielschwein freigelegt. Während dieses Prozesses wurde eine Fülle von Konstruktionsdetails aufgezeichnet.

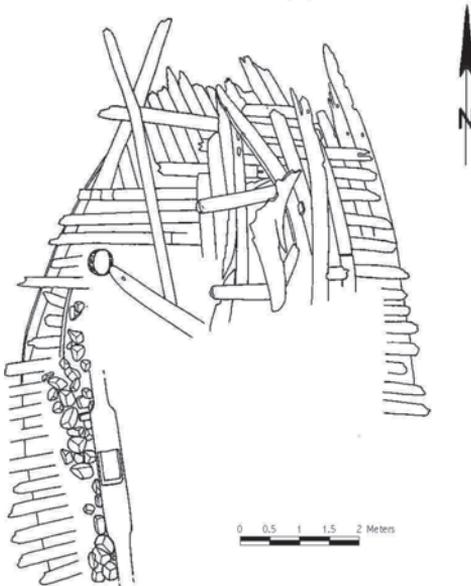


Abb. 1: Maßstäbliche Handskizze.

Zur Dokumentation der ausgegrabenen Teile des Wracks wurde bisher ein aus Stahlstangen bestehendes Gerüst verwendet. Dieses deckte den Ausgrabungsbereich mit zwei annähernd quadratischen Rasterflächen von je ca. 25 m<sup>2</sup> ab. Über die in 1 m Höhe über dem Grund verlaufenden horizontalen Gerüststangen wurden in Meterabständen Stahlseile gespannt. Die so entstehenden 1 m<sup>2</sup> großen Flächen wurden nach und nach frei Hand und mit Maßstäben unter Wasser abgezeichnet. Die Einzelblätter wurden an Land maßstäblich in eine mit Rasterlinien versehene Zeichnung übernommen. Das Ergebnis ist eine maßstäbliche, ebene, aber sehr detailreiche Kartierung, siehe Abb. 1.

### Unterwasser-Photogrammetrie

Die Unterwasser-Photogrammetrie unterscheidet sich gegenüber der Photogrammetrie an der Luft hinsichtlich der Sichtverhältnisse, der Lichtgeschwindigkeit und der sonstigen äußeren Aufnahmebedingungen. Die Sicht wird im Wasser vor allem durch vorhandene Schwebstoffe und mit der Tiefe zunehmenden Dunkelheit verschlechtert. Die Lichtgeschwindigkeit wird vor allem durch den Salzgehalt und die Temperatur des Wassers beeinflusst. Dies führt zur Brechungsproblematik besonders an Grenzflächen beim Übergang von Glas zu Wasser und an Sprungschichten mit unterschiedlichen Eigenschaften des Wassers. Die begrenzte Aufenthaltsdauer für Taucher unter Wasser, Strömung, Fixierungsprobleme für Kameras, schlechte Bedienbarkeit der Kamera, eingeschränkte Möglichkeiten für die Bestimmung der äußeren Orientierung stellen weitere Schwierigkeiten für die UW-Photogrammetrie dar. Die Lichtbrechung beim Übergang vom Wasser zum Gehäuse (Port) kann auf zweierlei Art und Weise eliminiert werden. Zum einen kann der Fehlereinfluss rechnerisch korrigiert werden. Die Berücksichtigung lichtbrechender Flächen im Strahlenbündel wurde bereits in KOROWSKI (1987) behandelt. Im nachfolgenden Abschnitt soll der mathematische Zusammenhang noch mal speziell für plane Ports dargestellt werden. Eine zweite prak-

tische Möglichkeit ist die Verwendung von Dom-Ports, bei denen die Brechung durch die Krümmung der Glasoberfläche eliminiert wird. Ein derartiger Port, dessen Mittelpunkt mit dem Projektionszentrum zusammenfallen sollte, wurde für die Aufnahmen der Darßer Kogge schließlich verwendet. Doch zunächst zur Geometrie an planen Ports.

### Planer Port – Normalfall

Im Folgenden soll eine Korrektur für Unterwasseraufnahmen hergeleitet werden, die dazu führt, dass die Bilder so aussehen, als wären sie an der Luft ohne Gehäuse gemacht worden. Im hier bezeichneten Normalfall wird zunächst von einer zur Bildebene parallelen Platte als Port ausgegangen, siehe Abb. 2.

$$n_1 \sin \varepsilon_1 = n_2 \sin \varepsilon_2$$

Mit:

$n$  ... Brechungsindex

$\varepsilon$  ... Brechungswinkel

$$n_{\text{Luft}} \approx 1 \quad n_{\text{Glas}} \approx 1,75 \quad n_{\text{Wasser}} \approx 1,33$$

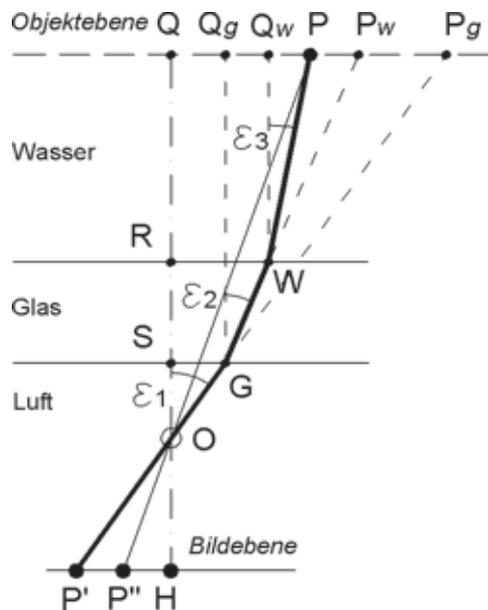


Abb. 2: Strahlengang mit einem planen und zur Bildebene parallelen Port.

Abbildung des radialen Fehlers durch Brechung:

In Objektebene:

$$\Delta r = \Delta r_g + \Delta r_w$$

In Bildebene:

$$\Delta r' = \Delta r / m_b$$

Mit:

$m_b$  ... Bildmaßstabszahl

$$\Delta r' = P'P''$$

Über das Brechungsgesetz, die Abbildungsgleichung und die trigonometrischen Beziehungen in den rechtwinkligen Dreiecken aus Abb. 2 gelangt man zu folgender Beziehung für  $\Delta r'$ :

$$\Delta r' = f(r', c_K, g_K, p_K, n_1, n_2, n_3, l_p)$$

mit:

$r'$  = P'H ... radialer Bildabstand

$c_K$  = HO ... Kamerakonstante

$g_K$  = OS ... Gehäusekonstante

$p_K$  = SR ... Portkonstante (z. B. Dicke der Gehäusescheibe)

$n_1, n_2, n_3$  ... Brechungsindex der Medien

$l_0$  = OQ ... Abstand vom Projektionszentrum zur Objektebene

$l_p$  = RQ ... Abstand vom Gehäuse zur Objektebene

$$\Delta r = PP_G = (g_K + p_K + l_p) \cdot \tan \varepsilon_1 - g_K \cdot \tan \varepsilon_1 - p_K \cdot \tan \varepsilon_2 - l_p \cdot \tan \varepsilon_3$$

Diese Funktion ermöglicht es, die Unterwasseraufnahmen so zu korrigieren, als wären die Bilder an der Luft ohne Gehäuse aufgenommen worden. Um die vom Abstand zum Bildmittelpunkt abhängige radiale Korrektur bestimmen zu können, müssen lediglich die Kamerakonstante, die Glasdicke der Gehäusescheibe, der Abstand der Ge-

häusescheibe vom Projektionszentrum, der Objektabstand und die Brechungsindizes der Medien bekannt sein. Außer dem Objektabstand werden hier die anderen Größen als konstant angesehen. Es sind ebene, zur Bildebene parallele und nicht ebene Aufnahmeobjekte zu unterscheiden. Bei ersteren lässt sich der Objektabstand leicht über einen Maßstab im Objektraum bestimmen. Bei nicht ebenen Objekten wird die Mehrbildauswertung angewendet. Dabei müssen die Brechungsindizes vom Glas und dem Wasser, der Abstand des Gehäuseglases vom Projektionszentrum und die Glasdicke als 4 bekannte Größen sowie die Parameter für die radiale Entzerrungsfunktion als unbekannte Größen in die Ausgleichung einfließen. In Li et al. (1996) wurde eine ähnliche Korrekturfunktion für die stereoskopische Auswertung verwendet. Darüber hinaus ist zu betonen, dass der Einfluss eines schief zur Bildebene stehenden Gehäuseports zusätzliche radial-asymmetrische und tangentialer Verzerrungen hervorruft, siehe Abb. 3. Im folgenden Abschnitt werden Formeln zur Berücksichtigung dieses Fehlereinflusses dargestellt.

### Planer Port – Schrägfall

Wie man aus der Formel 2 leicht ablesen kann, ergibt sich bei einer Gehäusescheibeneigung von  $\beta = 0$  dieselbe Formel wie im Normalfall (Formel 1). Die Gehäuseneigung  $\beta$  ist die Neigung der Scheibe in der Richtung vom Bildhauptpunkt hin zum Bildpunkt, für den der Korrekturwert berechnet werden soll. Sinnvollerweise gibt man für die Neigung der Scheibe die Neigung  $\zeta$  in x-Richtung und die Neigung  $\xi$  in y-Richtung an und berechnet sich die Neigung  $\beta$  in Abhängigkeit vom Richtungswin-

$$\Delta r' = r' - \frac{1}{m_b} \cdot [g_K \cdot \tan(\varepsilon_1) + p_K \cdot \tan(\varepsilon_2) + (l_0 - p_K - g_K) \cdot \tan(\varepsilon_3)]$$

mit:  $\sin \varepsilon_2 = n_1/n_3 \cdot \sin \varepsilon_1$   
 $\sin \varepsilon_3 = n_1/n_3 \cdot \sin \varepsilon_1$   
 $\tan \varepsilon_1 = r'/c_K$

**Formel 1:** Korrekturwerte zur Berücksichtigung der Brechung im Normalfall.

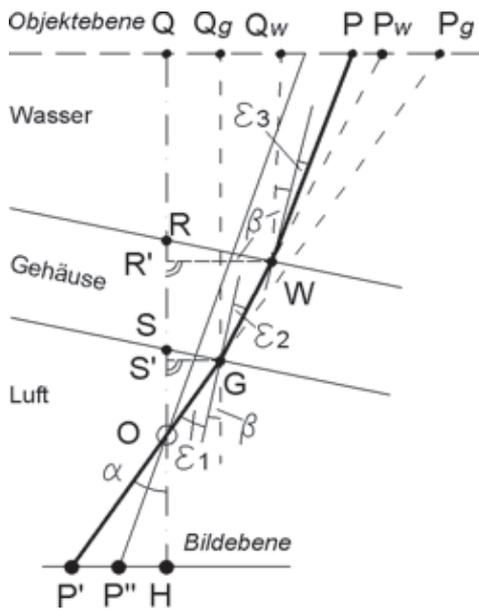


Abb. 3: Schräger Gehäuseport.

kel zum Punkt P' im Bildkoordinatensystem. Hinzu kommen noch die Ungenauigkeiten der oben als konstant angenommenen Werte wie Portdicke, Portparallelität und Brechungsindizes. Auch wenn abzuschätzen ist, dass diese Fehlereinflüsse geringere Auswirkungen haben im Verhältnis zu den anderen besprochenen, sind diese jedoch noch zu untersuchen. Die Werte  $g_k$ ,  $p_k$ ,  $n_2$  sowie die Neigungen  $\zeta$  und  $\xi$  stellen zusätzliche Konstanten der inneren Orientierung einer Unterwasserkamera mit planer Gehäusescheibe dar, können für eine Gehäuse-Kammerkonstruktion vorab bestimmt werden und für die Berechnung von Bildern, die der Zentralprojektion entsprechen, verwendet werden.

$$m_b = \frac{l_0}{c_k} \alpha = \arctan\left(\frac{r'}{c_k}\right)$$

$$\varepsilon_1 = \alpha - \beta$$

$$\varepsilon_2 = \arcsin\left(\frac{n_1}{n_2} \cdot \sin(\varepsilon_1)\right)$$

$$\varepsilon_3 = \arcsin\left(\frac{n_1}{n_3} \cdot \sin(\varepsilon_1)\right)$$

$$OS' = g_k \cdot \left[ \frac{1}{(1 + \tan(\alpha) \cdot \tan(\beta))} \right]$$

$$S'R' = \frac{p_k}{\cos(\varepsilon_2)} \cdot \cos(\beta + \varepsilon_2)$$

$$R'Q = l_0 - OS' - S'R'$$

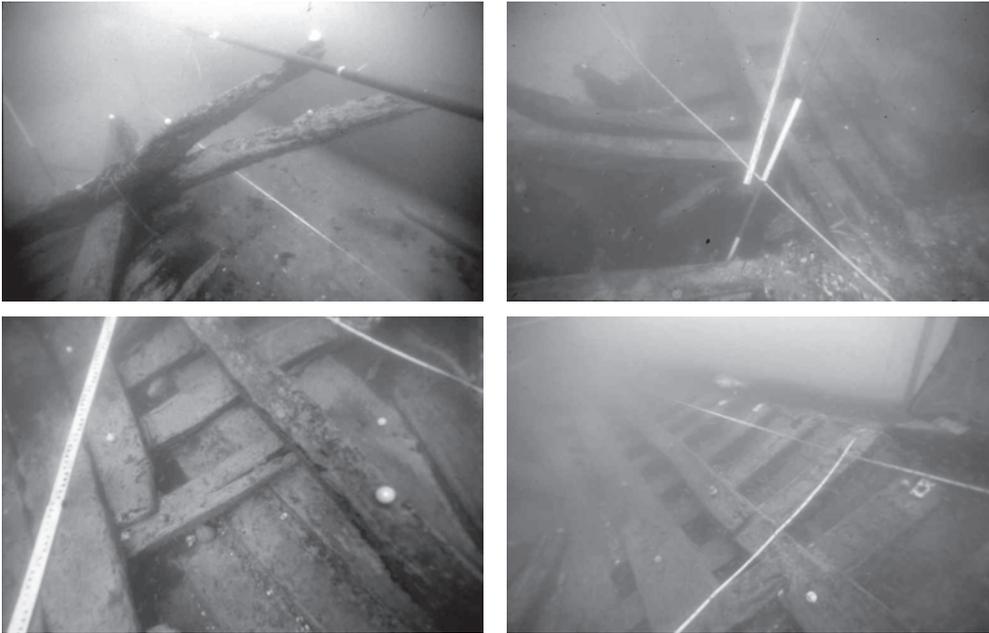
### Aufnahmen für die Darßer Kogge

Eine erste photogrammetrische Vermessung wurde 2001 im Rahmen einer Diplomarbeit an der Fachhochschule Neubrandenburg durchgeführt WEHDEN (2001). Die Aufnahmen wurden aus einer gleichen Höhe über dem Grund mit ca. 60% Längs- und 30% Querüberlappung angefertigt. Die Auswertung erfolgte über eine Bündelblockausgleichung. Weite Teile des Wracks befanden sich jedoch noch unter dem Sediment, so dass lediglich die Geländeoberfläche mit einzelnen herausragenden Spanten dargestellt werden konnte.

Die Aufnahmen bei der Ausgrabung von 2002 (siehe Abb. 4) überspannen einen beträchtlichen Teil des freigelegten Wracks. Dieses wurde in einem Abstand von ca. 50 cm mit kugelförmigen Marken flächendeckend signalisiert. Zur Maßstabsbestimmung und Orientierung wurden im Objekt- raum Messbänder ausgelegt und Fluchtstäbe angebracht. Die Sicht war durch Algenwuchs und Schwebeteilchen verhältnismäßig schlecht. Durch aufgestellte Netze um das Wrack wurde verhindert, dass sich das freigelegte Wrack mit Mulch zusetzt und die Sicht behindert. Zu anderen Jahreszeiten ist das Wasser wesentlich klarer und es herrschen Sichtweiten von über 8 m. Jedoch ist der Lichteinfall im Sommer besser. Die Aufnahmen erfolgten mit einer handelsüblichen

$$\Delta r' = r' - \frac{1}{m_b} \cdot [OS' \cdot \tan(\beta + \varepsilon_1) + S'R' \cdot \tan(\beta + \varepsilon_2) + R'Q \cdot \tan(\beta + \varepsilon_3)]$$

Formel 2: Korrekturwerte zur Berücksichtigung der Brechung bei geneigter Gehäusescheibe.



**Abb. 4:** UW-Aufnahmen mit kugelförmiger Signalisierung, Maßbändern und Fluchtstäben.

24 mm × 36 mm Kamera. Um die Brechung des Lichtes am Glas weitestgehend zu eliminieren, wurde ein Gehäuse mit Dom-Port gewählt. Auf Grund der geringen Genauigkeitsanforderungen wurde die Kamera zunächst noch nicht kalibriert. Eine Genauigkeitssteigerung will man sich für weitere Messkampagnen vorbehalten. Die mit Blitzlicht aufgenommenen Bilder haben eine Überlappung von bis zu 80%. Die gesamte Aufnahme wurden in einem zweiten Gang wiederholt. Damit standen 72 Bilder zur Auswertung zur Verfügung.

Bei der Verwendung einer Digital-Kamera mit Vorschau-Display besteht die Möglichkeit die Qualität der Bilder direkt nach jeder Aufnahme visuell zu prüfen. Dadurch kann ggf. ein kompletter zweiter Aufnahme-gang entfallen und so unter Wasser weitere Zeit eingespart werden. Durch die direkte Prüfung der Aufnahmequalität am Objekt ließen sich vorab auch Einstellungen an der Kamera testen, um so optimale Einstellungen zu finden.

### 3D-Rekonstruktion

Zur Rekonstruktion der Schiffshülle wurde das Programm „Photo Modeler“ verwendet. Zunächst wurden die Bilder gescannt. Nach dem Einlesen der Bilder wurden jeweils die 4 Eckpunkte der Bilder als Rahmenmarken gesetzt. Anschließend erfolgte die Verknüpfung der Bilder über die signalisierten Verknüpfungspunkte. Um den Bildverband weiter zu stabilisieren, wurden in einigen Regionen zusätzliche homologe, nicht signalisierte Punkte in der Struktur des Holzes oder des Bodens verwendet (insgesamt 138). Nach der Berechnung des Bildverbandes mit 41 Einzelbildern wurden die Objektpunkte über räumliche Rückwärts-schnitte aus zunächst 2 Bildern bestimmt. Danach erfolgte die Verbindung der Punkte mit Liniensegmenten. Da die Objektpunkte nicht eindeutig als homologe Punkte zu identifizieren waren, wurden Epipolarlinien genutzt und die Ebenheit von Flächen als Bedingung eingeführt. Dabei erwies sich der Wechsel zwischen 3D-Ansicht und der Bildansicht sowie die Möglichkeit zur Rückpro-

jektion der berechneten Objektlinien und Punkte in die Bildebene als sehr hilfreich. Zur Kontrolle wurde für jedes Objektsegment ein drittes Bild hinzugezogen, in das die projizierten Linien der Objekte dargestellt wurden. Auf diese Art wurden 313 Objektpunkte gemessen und die Konturen der Konstruktionselemente nachgezeichnet. Der Maßstab des Modells wurde über die 50 cm Fluchtstabsabschnitte und zwischen den Verknüpfungspunkten mit Messband gemessenen Strecken bestimmt.

### Ergebnisse

Das bisherige Ergebnis der Kampagne von 2002 ist ein digitales 3D-Modell der Konstruktionselemente der vorderen Steuerbordseite mit Teilen des Kieles, der Bodenwangen und Decksbalken, wie in Abb. 5 dargestellt. Die Objekte der Schiffskonstruktion wurden in Brauntönen eingefärbt. Auf eine Textur aus den Originalbildern wurde auf Grund der schlechten Qualität verzichtet. An Hand von Vergleichsstrecken zwischen den am Wrack angebrachten Ver-

knüpfungspunkten konnten Abweichungen von bis zu 12 cm auf 5 m festgestellt werden. Die innere Genauigkeit in der Ausgleichung beträgt bis zu 3 cm. Obwohl die Messung mit unkalibrierter Kamera vorgenommen wurde, kann das Ergebnis schon als brauchbar eingeschätzt werden. Vor allem besteht mit der 3D-Ansicht erstmals die Möglichkeit der Aufrichtung des Wracks in die senkrechte Lage und die Betrachtung von Details aus verschiedenen Sichten. Des Weiteren können in dem 3D-Modell beliebige Raumstrecken gemessen werden, was in den 2D-Darstellungen nicht möglich war.

### Zusammenfassung und Ausblick

Vor der Ostseeküste sind hunderte von Wracks lokalisiert worden. Einige sind wichtige Zeugen der Vergangenheit. Die Ausbreitung der Pfahlbohrmuschel verlangt jedoch zunehmend die Konservierung von Holzschiffen und Methoden zur zügigen und gründlichen Dokumentation der Schiffswracks in der Ostsee. Die 1977 vor Prerow gefundene Kogge aus dem Ende des

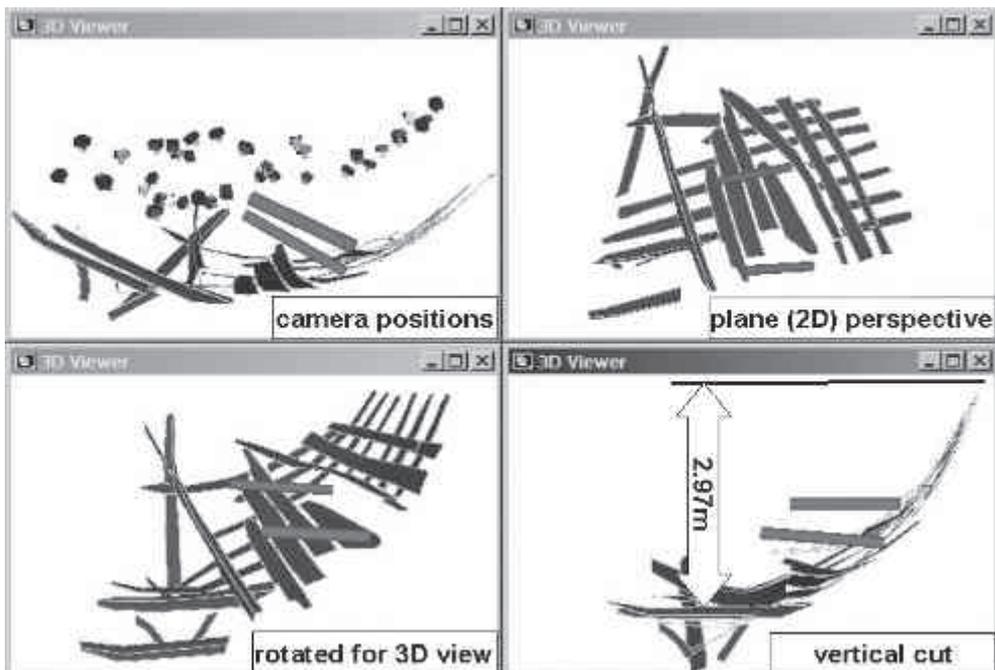


Abb. 5: 3D-Ansichten der rekonstruierten Schiffskonstruktion.

13. Jahrhunderts ist noch in gutem Zustand erhalten. Von ihr wurden im Jahre 2002 photogrammetrische Aufnahmen gemacht und dreidimensional ausgewertet. Die bei der UW-Photogrammetrie auftretenden Schwierigkeiten wurden dargestellt. Das Ergebnis der ersten Messkampagne ist ein digitales 3D-Modell. Bei der nächsten Kampagne soll eine digitale und kalibrierte Kamera eingesetzt werden. Damit soll die Genauigkeit gesteigert und das 3D-Modell vervollständigt werden.

### Danksagung

Die Autoren bedanken sich für die Förderung durch die EU innerhalb des Projektes „Monitoring, Safeguarding and Visualizing North-European Shipwreck Sites (MoSS)“.

### Literatur

- FÖRSTER, T., 2000: Neue Wrackfunde zwischen Rügen und Darßer Ort. – Nachrichtenblatt Arbeitskreis Unterwasserarchäologie, Band 7: 50–54.
- HÖHLE, J., 1971: Zur Theorie und Praxis der Unterwasser-Photogrammetrie. – Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Nr. 163, München.
- KOTOWSKI, R., 1987: Zur Berücksichtigung lichtbrechender Flächen im Strahlen-bündel. – Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Nr. 330, München.
- LAHN, W., 1992: Die Kogge von Bremen. – Schriften des Deutschen Schiffahrtsmuseums, Bremerhaven, 30.
- LI, R., TAO, C., CURRAN, T. & SMITH, R., 1996: Digital Underwater Photogrammetric System for Large Scale Underwater Spatial Information Acquisition. – Marine Geodesy, 20: 163–173.
- MOHR, D. 2001: Schiffswracks an der Ostseeküste von Fischland und Darß – eine Übersicht. – Nachrichtenblatt Arbeitskreis Unterwasserarchäologie, Band 8: 59–66.
- WEHDEN, F., 2001: Photogrammetrische Vermessung des Wracks der Darßer Kogge. – Diplomarbeit, FH Neubrandenburg, Fachbereich Bauingenieur- und Vermessungswesen.

### Anschriften der Autoren:

Dipl.-Ing. PETER KORDUAN  
 Universität Rostock  
 Institut für Geodäsie und Geoinformatik (IGGI)  
 Justus-von-Liebig-Weg 6  
 D-18059 Rostock  
 Tel.: 0381-498 21 64, Fax: 0381-498 21 88  
 e-mail: peter.korduan@auf.uni-rostock.de

Dipl.-Mus. THOMAS FÖRSTER  
 Landesamt für Bodendenkmalpflege Mecklenburg-Vorpommern  
 Schloss Wiligrad  
 D-19069 Wiligrad  
 Tel.: 3867-240 oder 8805  
 Fax: 3867-8806  
 e-mail: archaeomuseum.m-v@t-online.de

ROLAND OBST  
 Thüringer Allgemeine Bildredaktion  
 Gottstedter Landstraße 6  
 D-99092 Erfurt  
 Tel.: 0361-2274, Fax: 0361-2275144  
 e-mail: roland\_obst@t-online.de

Manuskript eingereicht: Februar 2003  
 Angenommen: März 2003



## Automatisierte Bestimmung von Bearbeitungsskalen für die multiskalige Auswertung von hoch auflösenden Fernerkundungsdaten

LARS TUFTE, Lünen

**Keywords:** remote sensing, high resolution remote sensing data, segmentation, algorithms, multi scale analysis, detection of buildings

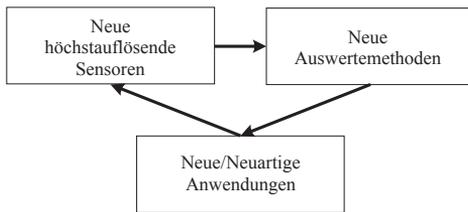
**Zusammenfassung:** Die relativ neuen hoch auflösenden Fernerkundungsdaten erfordern neue Auswertemethoden. Segment-basierte Methoden wurden in den letzten Jahren häufiger für die Analyse eingesetzt. Im deutschsprachigen Raum wird die Software eCognition, die einen entsprechenden Ansatz verfolgt, verstärkt genutzt. Im Vergleich zu der ständigen Entwicklung von immer neuen Segmentierungsalgorithmen besteht bei der Evaluierung der Segmentierungsergebnisse ein Defizit. Es besteht weiterhin ein entsprechender Forschungsbedarf. Die Wahl der Segmentierungsparameter und hier besonders die des Schwellenwertes (scale parameter) und die Wahl der objektklassen-spezifischen Bearbeitungsskalen erfolgt durch einen zeitaufwendigen manuellen Prozess. Hier wird ein Verfahren vorgestellt, welches es ermöglicht, aus einer erstellten Segmentpyramide die objektklassen-spezifische Bearbeitungsskala bzw. die entsprechende Ebene der Pyramide zu bestimmen. Hierfür werden 2 relativ einfache Kennwerte (*Qsplit* und *Qmerge*) genutzt. Die optimale Bearbeitungsskala ist definiert als die Ebene, bei der die beiden Kennwerte gleich sind. Diese Methode wird an einem Beispiel zur Detektierung von Gebäuden aus Laserscannerdaten erfolgreich eingesetzt.

**Summary:** *Automatic determination of working scales for the multi-scale analysis of very high resolution remote sensing data.* For the analysis of the relatively new very high resolution remote sensing data new methods are needed. In the last several years segment-based methods were frequently used for this purpose. Such a method is implemented in the Software eCognition which is often used in German speaking countries. Compared to the rapid development of new segmentation algorithm, there is a deficit in the development of methods for the evaluation of segmentation results. Therefore, there is still a strong need for further research. The choice of the parameter for the segmentation (especially the scale parameter) and of the class-specific working scale is a time consuming task. An approach for the determination of the class-specific working scale or the layer of a segment pyramid, respectively, is presented in this paper. For this purpose two relatively simple measures are used (*Qsplit* and *Qmerge*). The best working scale is defined as the layer of the segment pyramid where the two measures are equal. The approach was successfully applied to the detection of building from laser scanning data.

### 1 Einleitung

Die Auswertung der neuen hoch auflösenden Fernerkundungsdaten, welche von Satelliten- und Flugzeug-gestützten Sensoren aufgenommen werden, stellt augenblicklich ein aktuelles Forschungsgebiet dar. Neben den multispektralen Daten sind auch im verstärkten Maße Digitale Oberflächen Model-

le (DOM) verfügbar, die durch unterschiedliche Sensoren (z. B. Radar, Laser) erfasst werden. Die Daten erfordern neue Auswerteverfahren, die wiederum neue Anwendungen erschließen und zu einem erhöhten Bedarf bzw. einer erhöhten Nutzung hoch auflösender Daten führt (Abb. 1). Besondere Bedeutung hat die Entwicklung von operationellen und automatisierten Standardaus-



**Abb. 1:** Idealisierte Kausalkette in der Entwicklung der Fernerkundung (nach EHLERS 2002).

werteverfahren. Nur so kann das Potenzial der Daten für entsprechende Anwendungen voll genutzt werden.

Ein Ansatz zur Auswertung hoch auflösender Fernerkundungsdaten ist die Anwendung von Segment-basierten Methoden. Bei diesen Methoden wird das Bild durch Segmentierungsverfahren in Segmente unterteilt. Segmente sind eine räumlich zusammenhängende Menge von Pixeln. Die Segmente sind im Vergleich zu den Nachbarregionen einheitlicher und homogener bezüglich einer bestimmten Charakteristik (z. B. Grauwert, Textur, Form). Die anschließende Klassifizierung erfolgt auf der Grundlage der Segmente. Besonders im deutschsprachigen Raum werden in den letzten Jahren für die Analyse hoch auflösender Fernerkundungsdaten Segment-basierte Methoden auf der Grundlage der Software eCognition ([www.definiens-imaging.com](http://www.definiens-imaging.com)) eingesetzt. Die Methode besitzt aber die folgenden Mängel bzw. Schwächen:

- Die Segmentierungsparameter müssen hierbei durch einen iterativen und zeitaufwendigen Prozess bestimmt werden (SCHIEWE & TUFTE 2001).
- Besonders bei natürlichen Objekten ist die Übertragung von Segmentierungsparametern ohne eine Anpassung nicht möglich (LEUKERT 2002).
- Die Bewertung der Qualität der Segmente erfolgt in der Regel visuell. Quantitative Bewertungsmethoden der Segmentierungsqualität existieren nur in Ansätzen (NEUBERT & MEINEL 2002).
- Die Wahl der Bearbeitungsskalen im Sinne einer multi-skaligen Analyse (siehe z. B. SCHIEWE 2002), die in Abhängigkeit der betrachteten topographischen Objekte va-

riabel sind, erfolgt nicht automatisiert und zum Teil intuitiv.

In diesem Aufsatz wird eine quantitative Bewertungsmethode vorgestellt und daraus optimale objektklassen-spezifische Bearbeitungsskalen bzw. Segmentierungsparameter bestimmt.

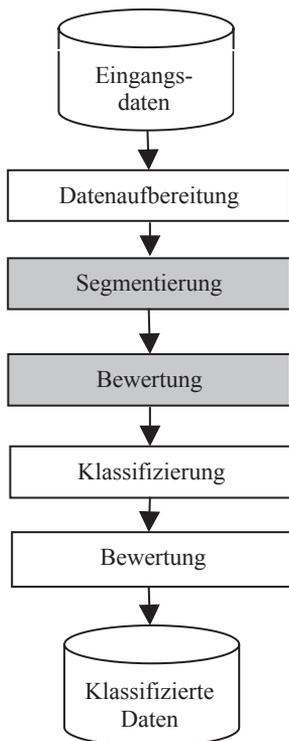
Kapitel 2 beschreibt die Segment-basierte Methode zur Auswertung hoch auflösender Fernerkundungsdaten und geht kurz auf das genutzte Segmentierungsverfahren ein. In Kapitel 3 wird ein allgemeiner Überblick über die Möglichkeiten der Bewertung der Segmentierungsqualität gegeben. Das konkrete Bewertungsverfahren und die Bestimmung der Bearbeitungsskalen wird in Kapitel 4 beschrieben und anhand zweier Beispiele zur Detektierung von Gebäuden und der Bestimmung der Flächen in einem künstlich erzeugten Datensatz demonstriert (Kapitel 5).

## 2 Die Segment-basierte Methode zur Auswertung hoch auflösender Fernerkundungsdaten

Das grobe Ablaufschema der Segment-basierten Methode ist in Abb. 2 dargestellt. Nach einer möglichen Datenaufbereitung erfolgt die Segmentierung, die im folgenden Abschnitt näher erläutert wird. Die anschließende Bewertung dient zur Wahl der Objektklassen-spezifischen Bearbeitungsskalen, die für die Klassifizierung genutzt werden. Dieses Bewertungsverfahren wird in Kapitel 3 beschrieben. Für die Klassifizierung der Segmente können unterschiedliche Merkmale, wie zum Beispiel Formparameter (Größe, Umfang, usw.), Nachbarschaftsbeziehungen und spektrale Eigenschaften (z. B. Mittelwert innerhalb des Segmentes) genutzt werden.

Bei dieser Methode ist die Segmentierung bzw. die Wahl der Segmentierungsparameter von entscheidender Bedeutung, da die Segmente die Basis der Klassifizierung bilden (Abb. 2). Die Bewertung der Qualität der Segmente erfolgt in der Regel visuell.

In diesem Aufsatz wird ein Verfahren zur Evaluierung der Segmentierung vorgestellt, welches erstmals für hoch auflösende Daten



**Abb. 2:** Grobes Ablaufschema der Segment-basierten Auswertung.

angewendet wird. Wendet man dieses Verfahren auf die durch unterschiedliche Parametereinstellungen erzeugte Segmentpyramide an, dann lässt sich die Wahl der objekt-klassen-spezifischen Bearbeitungsskalen für die anschließende Klassifizierung automatisieren.

### 2.1 Das Segmentierungsverfahren

Für die Bildsegmentierung wird im Programmpaket eCognition ein neu entwickeltes und patentiertes „Multiresolution Segmentation“ Verfahren basierend auf einer region-merging Technik eingesetzt. Das Optimierungsverfahren minimiert die gewichtete Heterogenität ( $nh$ ) der erzeugten Bildobjekt-Primitive, wobei  $n$  die Größe der Segmente und  $h$  die Heterogenität darstellt. Zwei benachbarte Segmente werden vereinigt, wenn der Anstieg der definierten Heterogenität minimal im Vergleich zu den an-

deren Vereinigungsmöglichkeiten ist. Wenn der kleinste Anstieg an Heterogenität einen Schwellenwert (sog. scale parameter) überschreitet, wird der Prozess beendet. Über den Schwellenwert lässt sich die Größe der erzeugten Segmente variieren. Die Heterogenität kann über die Eingangsdaten (häufig Spektralwerte aber auch z. B. Höhenwerte) und/oder geometrische Eigenschaften (Kompaktheit, Form) definiert werden.

Die Heterogenität der Eingangswerte ( $h_E$ ) ist die Summe der Standardabweichungen ( $\sigma$ ) der Spektralwerte in jeder Datenebene, gewichtet mit einem Gewichtungsfaktor ( $w$ ), der für jede Datenebene definiert werden kann.

$$h_E = \sum_l^n w_n \cdot \sigma_n$$

$w$ : Gewichtungsfaktor  
 $\sigma$ : Standardabweichung  
 $n$ : Anzahl der Datenebene

Die Kompaktheit ( $h_K$ ) wird über das Verhältnis der Grenzlänge ( $l$ , Länge der Segmentgrenze) zur Quadratwurzel der Anzahl der Pixel je Segment ( $n$ ) bestimmt.

$$h_K = \frac{l}{\sqrt{n}}$$

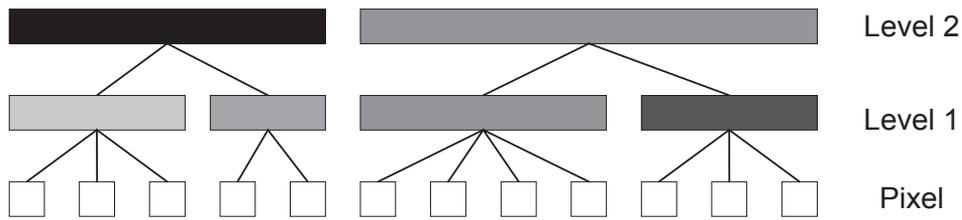
$l$ : Grenzlänge  
 $n$ : Anzahl der Pixel je Segment

Als weiterer Parameter zur Beschreibung der geometrischen Eigenschaften dient die Form ( $h_F$ ), die definiert ist durch das Verhältnis der Grenzlänge ( $l$ ) zur kürzesten möglichen Grenzlänge definiert durch das kleinste umschließende Rechteck ( $b$ , bounding box) für das Segment parallel zum Raster.

$$h_F = \frac{l}{b}$$

$l$ : Grenzlänge  
 $b$ : kürzeste mögliche Grenzlänge

Die Gewichtung der einzelnen Parameter kann für jede Segmentierung vom Benutzer



**Abb. 3:** Hierarchisches Netz der Bildobjekt-Primitive (Segmentpyramide) auf unterschiedlichen Segmentierungsebenen.

bestimmt werden. BAATZ & SCHÄPE (2000) beschreiben die Methode detaillierter.

Durch die Variation der Eingangsdaten für die Segmentierung sowie der oben genannten Parameter kann man Bildobjekt-Primitive erzeugen. Diese entsprechen Objekten und/oder Teilen von Objekten auf unterschiedlichen Abstraktionsebenen (Segmentierungsebenen). Die Grenzen eines Ober-Bildobjekt-Primitivs sind konsistent mit den Grenzen der entsprechenden Unter-Bildobjekt-Primitive (Abb. 3).

Jedes Bildobjekt-Primitiv kann in Beziehung zu seinen Nachbarn und die entsprechenden Unter-Bildobjekt-Primitive gesetzt werden. Man erzeugt ein hierarchisches Netz von Bildobjekt-Primitiven, welche sich auf unterschiedlichen Segmentierungsebenen befinden (Abb. 3). Diese Segmentierungsmodelle bilden eine Segmentpyramide.

Die Software wurde schon in zahlreichen Studien für unterschiedliche Fragestellungen eingesetzt (Tab. 1).

**Tab. 1:** Überblick über bisherige Anwendungsgebiete der Software eCognition.

Anwendung	Autoren
Forstwirtschaft	DE KOK (2001), DE KOK et al. (2000)
Urbane Räume	BAUER & STEINOCHER (2001), BAUER & STEINOCHER (1999), HOFMANN (2001a), HOFMANN (2001b), MEINEL et al. (2001), PILZ & STROBEL (2002)
Limnologie	ANDRESEN et al. (2002)
Aktualisierung von GIS Daten	HOFFMANN et al. (2001), HOFFMANN et al. (2000b), HOFFMANN et al. (2000a), SCHIEWE & TUFTE (2002)
Extraktion von Geländeoberflächen	SCHIEWE (2001)
Klassifizierung von Bio- toptypen	LESER (2002b), LESER (2002a), NEUBERT & MEINEL (2002), SCHIEWE et al. (2001)
Nukleare Kontrolle	NIMEYER & CANTY (2001), NIEMEYER et al. (1999)

### 3 Methoden zur Evaluierung des Segmentierungsergebnisses

Es gibt unterschiedliche Methoden zur Evaluierung von Segmentierungsergebnissen. Im Vergleich zu der vorhandenen und weiterhin steigenden großen Anzahl von unterschiedlichen Segmentierungsalgorithmen ist die Entwicklung von Evaluierungsmethoden aber deutlich geringer.

Nach ZHANG (1996) kann man 3 Evaluierungsmethoden unterscheiden. Dies sind die analytische, die empirische Güte und die empirische Diskrepanz Methode. Die von ZHANG (1996) beschriebene Einteilung ist in Abb. 4 im Rahmen des generellen Ablaufschemas der Evaluierung dargestellt. Die eigentliche Segmentierung erfolgt in dem in der Abb. 4 grau hinterlegten Bereich. In Abhängigkeit von der Verfügbarkeit bzw. Nutzung von a priori Informationen kann man auch eine Gliederung in unüberwachte und überwachte Methoden vornehmen.

Bei der analytischen Methode wird der Segmentierungsalgorithmus in seinem Prinzip, seiner Komplexität usw. betrachtet (ZHANG 1996). Die Schwierigkeit hierbei ist

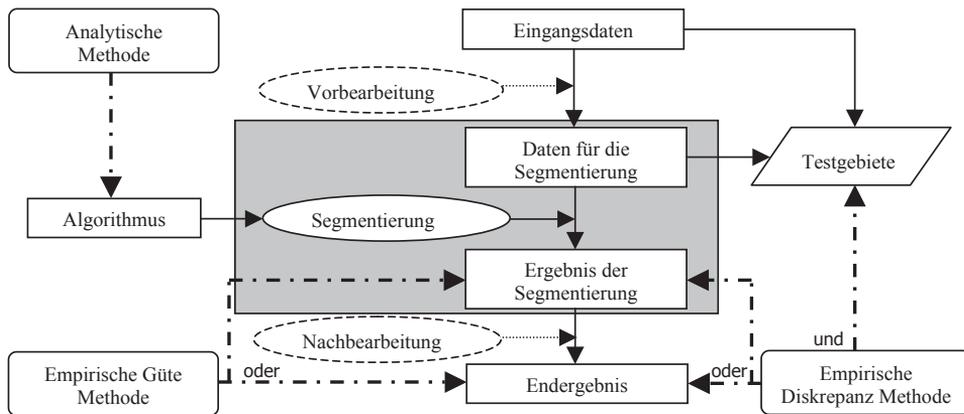


Abb. 4: Evaluierungsmethoden der Segmentierung (nach ZHANG 1996).

das Fehlen einer allgemeinen Theorie der Segmentierungsverfahren (HARALICK & SHAPIRO 1992). Die empirische Güte-Methode bewertet das Ergebnis der Segmentierung direkt oder nach einer Nachbearbeitung. Die Bewertung erfolgt durch Gütekriterien. Ein a priori Wissen über die korrekte Segmentierung muss nicht vorhanden sein. LEVINE & NAZIF (1985) nutzen z. B. als Kriterien die Uniformität innerhalb der Regionen und den Kontrast zwischen benachbarten Regionen. Bei der empirischen Diskrepanz-Methode wird das Ergebnis der Segmentierung direkt oder nach einer Nachbearbeitung mit einer korrekten Segmentierung bzw. mit Testgebieten, abgeleitet aus den Eingangsdaten oder den Daten für die Segmentierung (nach der Vorbearbeitung), verglichen. Durch die Nutzung von Testgebieten sind diese Methoden allgemein anzuwenden (EVERINGHAM et al. 2002). YASNOFF et al. (1977) nutzen z. B. die Anzahl der falsch klassifizierten Pixel und deren Position zur Berechnung des Anteils der falsch klassifizierten Fläche und des Abstandes des falsch klassifizierten Pixels zum räumlich (euklidische Distanz) am nächsten gelegenen Pixel, welches zur falsch klassifizierten Klasse gehört (pixel distance error). Es besteht auch die Möglichkeit, Objektkenngrößen (z. B. Fläche, Umfang) zu vergleichen (z. B. YANG et al. 1995). Nicht alle Evaluierungsmethoden können eindeutig einer der drei Kategorien zugeordnet werden. Die

Methode von EVERINGHAM et al. (2001) ähnelt z. B. den empirischen Diskrepanz-Methoden, aber sie definiert nicht nur eine Diskrepanzmetrik und evaluiert die Segmentierung in einem Diskrepanz/Parameter Merkmalsraum, sondern die Evaluierung basiert auf einem mehrdimensionalen Tauglichkeit/Aufwand Merkmalsraum. Einen allgemeinen Rahmen für die Bewertung von Segmentierungsergebnissen stellen ZHANG & GERBRANDS (1994) vor. Er ist den Empirischen-Diskrepanz-Methoden zuzuordnen. Als Kriterium wird die Genauigkeit der Bestimmung von Objektkenngrößen vorgeschlagen.

Einen Überblick über weitere Methoden geben ZHANG & GERBRANDS (1994) sowie ZHANG (1996).

#### 4 Automatisierte Bestimmung der objektklassen-spezifischen Bearbeitungsskalen durch Segmentierungsevaluierung

Die im Folgenden verwendete Methode bestimmt die Diskrepanz zwischen Testgebieten und dem Segmentierungsergebnis. Sie ist also den empirischen Diskrepanz-Methoden zuzurechnen. Hierbei erfolgt eine Unterscheidung in zwei mögliche Fehler:

- Ein „reales“ Objekt wird in mehrere Segmente unterteilt (oversegmentation).
- Ein Segment beinhaltet mehrere Objekte (undersegmentation).

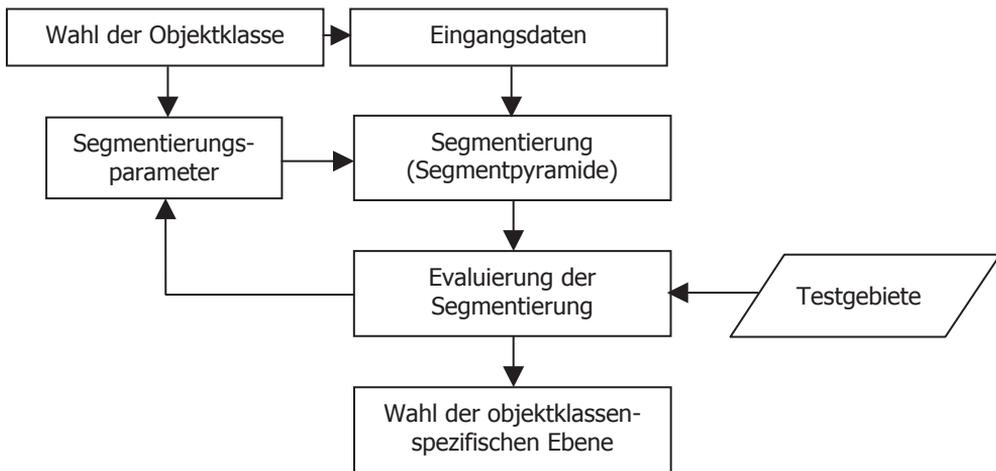


Abb. 5: Ablaufschema der Bestimmung der objektklassen-spezifischen Bearbeitungsskala.

Der erst genannte Fehler kann relativ leicht korrigiert werden, da bei der Klassifizierung den Segmenten die entsprechende Objektklasse zugeordnet wird. Umfasst ein Segment dagegen mehrere Objekte, muss die Segmentierung mit veränderten Parametern und möglicherweise neuen Eingangsdaten erneut durchgeführt werden.

Abb. 5 zeigt das Ablaufschema der Methode. Ausgehend von der zu bestimmenden Objektklasse werden die Eingangsdaten (z. B. Spektralkanäle) und die Segmentierungsparameter (z. B. Gewichtungsfaktoren) gewählt. Mit unterschiedlichen Schwellenwerten für die Segmentierung wird eine Segmentpyramide erzeugt. Die Evaluierung erfolgt mit Testgebieten und das Ergebnis führt zur Wahl der objektklassen-spezifischen Bearbeitungsskala bzw. Segmentierungsebene. Es besteht natürlich auch die Möglichkeit, unterschiedliche Eingangsdaten und Segmentierungsparameter zu evaluieren und so eine optimale Kombination zu bestimmen.

Die Evaluierungsmethode basiert auf den Qualitätskennwerten  $Qsplit$  und  $Qmerge$  (SCHOUTEN & KLEIN GEBBINCK 1995, SCHOUTEN et al. 1994).  $Qsplit$  ist das Maß für die Zersplitterung eines „realen“ Objektes in unterschiedliche Segmente. Die Qualität der Segmentierung bezüglich des Zusammenfallens mehrerer „realer“ Objekte in

ein Segment wird durch  $Qmerge$  bestimmt.  $Qsplit$  wird folgendermaßen berechnet:

$$Qsplit_i = \frac{n \text{ cov}_{ik}}{nin_i}$$

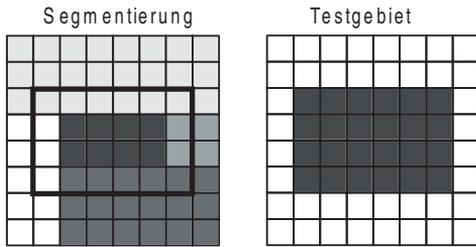
Für jedes Testgebiet ( $i$ ) wird das Verhältnis der Anzahl der Pixel ( $ncov_{ik}$ ) des **größten** Segmentes ( $k$ ), welches Teil des Testgebietes ist und der Anzahl der Pixel des Testgebietes ( $nin_i$ ) ermittelt. Wenn das Testgebiet komplett innerhalb eines Segmentes liegt, dann ist die Qualität der Segmentierung bezüglich der Zersplitterung für dieses Testgebiete maximal ( $Qsplit = 1$ ).  $Qmerge$  berechnet sich:

$$Qmerge_k = \frac{n \text{ cov}_{ki}}{nin_k}$$

Für jedes Segment ( $k$ ) wird das Verhältnis der Anzahl der Pixel ( $ncov_{ki}$ ) des **größten** Testgebietes ( $i$ ), welches Teil des Segmentes ist und der Anzahl der Pixel des Segmentes ( $nin_k$ ) ermittelt.

Abb. 6 zeigt ein stark vereinfachtes Beispiel einer Segmentierung zur Erläuterung der Berechnung der Kennwerte.

Im linken Teil der Abbildung ist das Ergebnis einer Segmentierung dargestellt und im rechten Teil der Abbildung das Testgebiet, welches das Objekt darstellt. Das Rechteck im linken Teil der Abbildung soll die Lage und Größe des Testgebietes im Zu-



**Abb. 6:** Beispiel zur Bestimmung der Qualitätskennwerte der Segmentierung.

sammenhang mit dem Segmentierungsergebnis verdeutlichen. Die Berechnung der Kennwerte erfolgt nun folgendermaßen:

Berechnung von  $Q_{split_i}$ :

$n_{in_i} = 24$  Pixel (Anzahl der Pixel des Testgebietes  $i$ )

$ncov_{ik} = 8$  Pixel (Anzahl der Pixel des größten Segmentes  $k$  der Segmentierung, welches sich räumlich mit dem Testgebiet  $i$  überschneidet)

$$Q_{split_i} = 8/24 = 1/3$$

Berechnung von  $Q_{merge_k}$ :

$$Q_{merge_1} = 6/24 = 1/4$$

$$Q_{merge_2} = 2/4 = 1/2$$

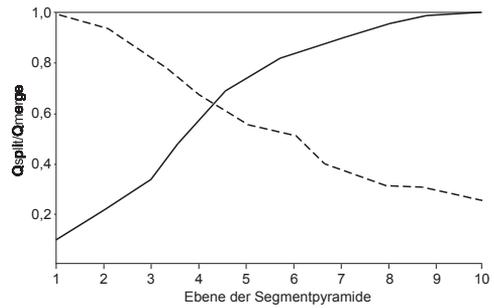
$$Q_{merge_3} = 8/8 = 1$$

$$Q_{merge_4} = 6/18 = 1/3$$

Der Gesamtwert wird durch die Bildung des Mittelwertes ermittelt.

$$Q_{merge} = 0,52$$

Wenn man mit dem beschriebenen Segmentierungsverfahren eine Segmentpyramide



**Abb. 7:** Beispielhafte graphische Darstellung der Qualitätskennwerte  $Q_{split}$  (durchgezogene Linie) und  $Q_{merge}$  (gestrichelte Linie) in Bezug zu den Ebenen der Segmentpyramide.

erzeugt, kann man die Kennwerte in Beziehung zu den Segmentierungsebenen graphisch darstellen (Abb. 7).

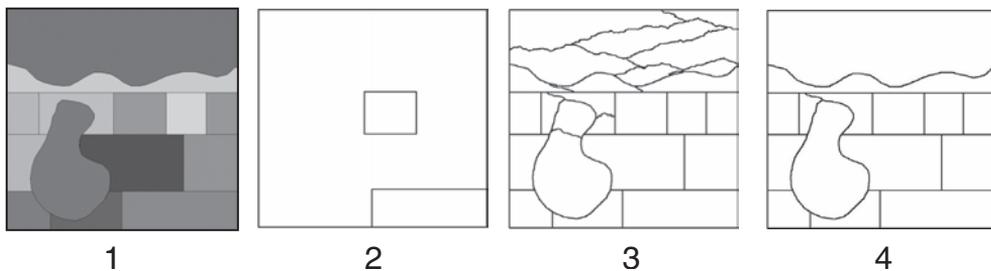
Die optimale objektklassen-spezifische Ebene (Bearbeitungsskala) ist definiert als die Ebene, bei dem die beiden Kennwerte gleich sind (Schnittpunkt der beiden Graphen).

## 5 Beispiele

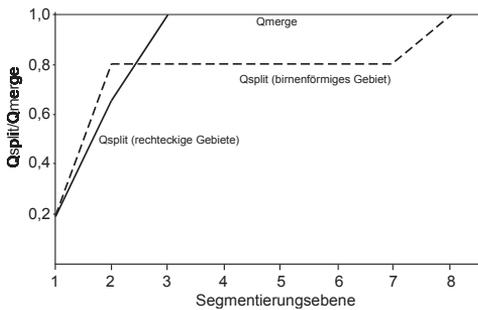
### 5.1 Künstlicher Datensatz

Zur Veranschaulichung und zum Test des Verfahrens wird dieses auf einen künstlich erzeugten Datensatz angewendet (Abb. 8 Nr. 1). Jede Fläche hat einen unterschiedlichen Wert, ist aber in sich homogen. Da alle Flächen klar voneinander abgrenzbar und in sich homogen sind, kommt es nie zu einer Vereinigung mehrere Objekte innerhalb eines Segmentes ( $Q_{merge}$  immer 1).

Als Testgebiete für die rechteckigen Flächen dienen die in der Abb. 8 dargestellten



**Abb. 8:** Künstlich erzeugter Datensatz (1), Testgebiete für die rechteckigen Flächen (2), Segmentierungsebene 3 (3) und Segmentierungsebene 8 (4).



**Abb. 9:** Diagramm der Qualitätskennwerte  $Q_{split}$  und  $Q_{merge}$  für die 2 rechteckigen Testgebiete (durchgezogene Linie) und das birnenförmige Testgebiet (gestrichelte Linie).

Flächen (Nr. 2). Die Kurve für  $Q_{split}$  schneidet  $Q_{merge}$  bei der Segmentierungsebene 3 (Abb. 9) ( $Q_{split} = 1$ , da  $Q_{merge}$  immer 1). Betrachtet man die Segmentierungsebene visuell zeigt sich (Abb. 8, Nr. 3), dass die rechteckigen Flächen optimal segmentiert werden aber größere und unregelmäßige Flächen weiterhin in einzelne Segmente unterteilt sind. Wenn nur die birnenförmige Fläche als Testgebiet genutzt wird, ergibt sich als optimale Bearbeitungsskala die Segmentierungsebene 8 (Abb. 9). Eine Fläche wird aber weiterhin geteilt (Abb. 8, Nr. 4).

Es zeigt sich, dass die Testgebiete in ihrer ungefähren Größe und Form repräsentativ für die entsprechenden Objektklassen sein müssen. Nur so kann mit dieser Methode eine korrekte Bestimmung der objektklassen-spezifischen Segmentierungsebenen und somit die Wahl der Bearbeitungsskalen für die Analyse erfolgen.

## 5.2 Anwendungsbeispiel: Detektierung von Gebäuden

Die Umriss von Gebäuden und die Gebäudehöhen stellen wichtige Informationen in urbanen Gebieten dar. Diese Informationen finden z. B. verschiedene Anwendungen in den Bereichen Stadtplanung, Telekommunikation (z. B. Funknetzplanung), Vermessung und Umweltschutz (z. B. stadtklimatologische Fragestellungen). Weitere Anwendungen werden z. B. von MÜLLER (2001) beschrieben. Obwohl große wissenschaftliche

Fortschritte zur automatischen Ableitung von Stadtmodellen gemacht wurden, sind diese für die praktische Anwendung aber nicht zuverlässig genug und erfordern zu viel manuelle Nachbearbeitung (BRENNER 2001).

Zur Detektierung von Gebäuden stellen Höhendaten eine sehr nützliche Ergänzung dar. Objekte, die sich von ihrer Umgebung in der Höhe unterscheiden (wie z. B. Gebäude), können durch die Nutzung der Höhendaten detektiert werden. Die multispektralen Daten liefern wichtige Informationen, um zum Beispiel Bäume von Gebäuden oder Grasflächen von Parkplätzen, die auf einem Höhenniveau liegen, zu unterscheiden. Die gemeinsame Nutzung der multispektralen Bilddaten und der Höhendaten stellt eine sinnvolle Kombination dar (siehe z. B. GERKE et al. 2001, HAALA & BRENNER 1999). Die in dieser Arbeit eingesetzte Software wurde auch schon erfolgreich zur Gebäudedetektierung eingesetzt (siehe z. B. HOFMANN, A.D. et al. 2002, HOFMANN, P. 2001a). Hier wird nur die Segmentierung betrachtet, ohne näher auf die anschließende Klassifizierung in Gebäude und nicht Gebäude (z. B. Vegetation) einzugehen, da die Segmente die räumliche Einheit der Klassifizierung darstellen.

## Der Datensatz

Als Beispieldaten werden in dieser Arbeit Daten des Multi-Sensor-Systems TopoSys II der Firma TopoSys eingesetzt (TOPOSYS 2002). Dieses System integriert einen Laserscanner und eine multispektrale Kamera. Abgedeckt wird ein Teil der Stadt Ravensburg. Die Datenaufnahme erfolgte am 23. 4. 2001 in einer Flughöhe von ca. 830 m über Grund (1250 m über NN). Neben den multispektralen Daten (4 Kanäle im sichtbaren und nahen Infrarot Bereich) mit einer Bodenpixelgröße von 0,5 m (Abb. 10) stehen first und last pulse Daten (Gitterweite 1 m) zur Verfügung. Ein normalisiertes Digitales Oberflächen Modell (nDOM) ist nicht verfügbar. Im rechten Teil der Abb. 10 ist ein radiometrischer Fehler, der sich zu diesem Zeitpunkt noch im experimentellen Stadium

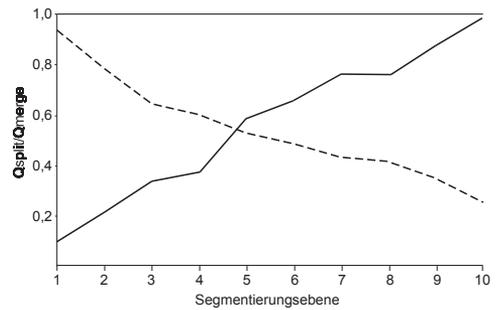


**Abb. 10:** Ausschnitt des multispektralen Datensatzes (115 m × 125 m).

befindlichen multispektralen Kamera, erkennbar.

### Segmentierung und Bestimmung der optimalen Bearbeitungsskala

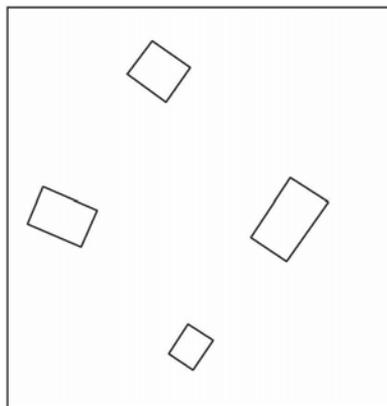
Die Segmentierung erfolgt auf der Grundlage der first-pulse Laserscannerdaten. Die Werte für die Gewichtung der Eingangsdaten (hier die Höhendaten) und der Formhomogenität werden für die einzelnen Segmentierungsebenen nicht verändert. Durch die Wahl aufsteigender Schwellenwerte (scale parameter) wird eine Segmentpyramide erzeugt.



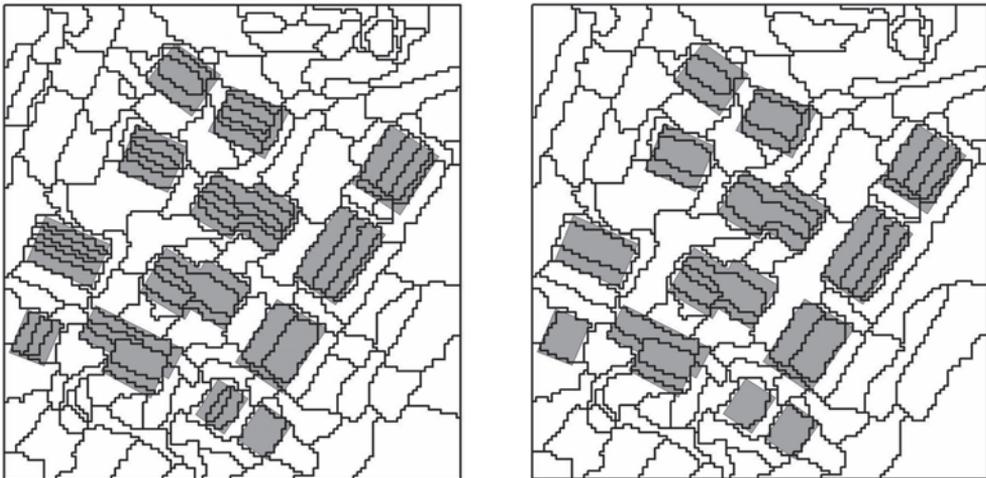
**Abb. 12:** Diagramm der Qualitätskennwerte  $Q_{split}$  (durchgezogene Linie) und  $Q_{merge}$  (gestrichelte Linie).

Da keine Daten zu den Gebäuden zur Verfügung stehen, werden die Testgebäude auf der Grundlage der multispektralen Bilddaten am Bildschirm digitalisiert (Abb. 11). Diese Gebäude dienen dann zur Bestimmung der optimalen objektklassen-spezifischen Ebene.

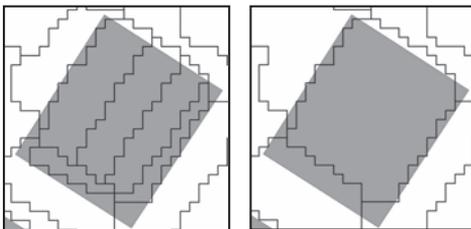
Abb. 12 zeigt das Diagramm für die Qualitätskennwerte  $Q_{split}$  und  $Q_{merge}$ . Die beiden Kurven schneiden sich zwischen der Segmentierungsebene 4 und 5. Der visuelle Vergleich der beiden Segmentierungsebenen zeigt, dass sich nur innerhalb und zwischen den Testgebäuden Veränderungen bezüglich der Segmente ergeben (Abb. 13). Die Umrisse der Testgebäude bleiben unverändert. Vergleicht man die Segmentierungsebene 5 und 6 visuell, dann zeigen sich negative Veränderungen der Segmente bezüglich der Abgrenzung der Gebäude (Abb. 14). Als opti-



**Abb. 11:** Am Bildschirm digitalisierte Testgebäude (rechts) auf der Grundlage der Bilddaten (links).



**Abb. 13:** Vergleich der Segmentierungsebenen 4 (links) und 5 (rechts).



**Abb. 14:** Veränderungen der Segmentgrenzen am Beispiel eines Gebäudes (hellgraue Fläche) für die Segmentierungsebene 5 (links) und 6 (rechts).

male Bearbeitungsskala für die Detektierung der Gebäude ist die Segmentierungsebene 5 bestimmt worden.

Diese Bearbeitungsskala gilt nur für die Gebäude, deren Größe ungefähr der der Testgebäude entspricht und die eine rechteckige Form aufweisen. Für andere Gebäude (z. B. große Lagerhallen) ergeben sich andere objekt-spezifische Bearbeitungsskalen bzw. Ebenen in der Segmentpyramide. Die Klassifizierung muss dann auf unterschiedlichen Ebenen der Segmentpyramide stattfinden.

### 5.3 Ausblick

Das hier beschriebene Verfahren erfordert die Auswahl von repräsentativen Testgebie-

ten (Größe und Form) für die entsprechenden Objektklassen. Nur so kann eine korrekte Bestimmung der objektklassen-spezifischen Segmentierungsebenen und somit die Wahl der Bearbeitungsskalen für die Analyse erfolgen. Die Auswahl dieser Testgebiete erfolgt manuell. Durch die Entwicklung bzw. Nutzung von Methoden zur automatischen Ableitung von Testgebieten aus vorhandenen GIS-Daten kann der Grad der Automatisierung weiter erhöht werden.

## 6 Danksagung

Die verwendeten Bild- und Höhendaten wurden freundlicherweise von der Fa. TopoSys GmbH zur Verfügung gestellt.

## 7 Literatur

- ANDRESEN, T., MOTT, C., SCHÜPFERLING, R., ZIMMERMANN, S. & SCHNEIDER, T., 2002: Objektorientierte Analyse von Fernerkundungsdaten zur Erfassung aquatischer/terrestrischer Parameter. – In: BLASCHKE, T. (Hrsg.): Fernerkundung und GIS: Neue Sensoren – innovative Methoden. – pp. 222–2232, Wichmann, Heidelberg.
- BAATZ, M. & SCHÄPE, A., 2000: Multiresolution Segmentation – an optimization approach for high quality multi-scale image segmentation. –

- In: STROBL, S., BLASCHKE, T. & GRIESEBNER, G. (Hrsg.): *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII*. – pp. 12–29, Wichmann, Heidelberg.
- BAUER, T. & STEINNOCHER, K., 2001: Per-parcel classification in urban areas applying a rule-based technique. – *Geo-Informationssysteme*, **14** (6): 24–27.
- BAUER, T. & STEINNOCHER, K., 1999: Objektbasierte Auswertung von hochauflösenden Fernerkundungsdaten in urbanen Räumen. – In: STROBEL, J. & BLASCHKE, T. (Hrsg.): *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XI. Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 1999*. – pp. 30–38, Herbert Wichmann, Karlsruhe.
- BRENNER, C., 2001: City models – automation in research und practice. – In: FRITSCH, D. & SPILLER, R. (Hrsg.): *Photogrammetric Week 2001*. – pp. 149–158.
- DE KOK, R., 2001: Objektorientierte Bildanalyse. Ein Lösungsansatz für den automatisierten Einsatz sehr hoch auflösender Satellitendaten für forstliche Fragestellungen. 148 S., Technische Universität München, München.
- DE KOK, R., BUCK, A., SCHNEIDER, T. & AMMER, U., 2000: Analysis of image objects from VHR imagery for forest GIS updating in the Bavarian Alps. – In: BEEK, K.J. & MOLENAAR, M. (Hrsg.): *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. XXXIII, Part B3*, pp. 222–229, Amsterdam, The Netherlands.
- EHLERS, M., 2002: Fernerkundung für GIS-Anwender – Sensoren und Methoden zwischen Anspruch und Wirklichkeit. – In: BLASCHKE, T. (Hrsg.): *Fernerkundung und GIS: Neue Sensoren – innovative Methoden*. – pp. 110–23, Wichmann, Heidelberg.
- EVERINGHAM, M., MULLER, H. & THOMAS, B., 2001: Evaluating image segmentation algorithms using monotonic hulls in fitness/cost space. – In: COOTES, T. & TAYLOR, C. (Hrsg.): *Proceedings of the 12th British Machine Vision Conference (BMVC2001)*. – 363–372.
- EVERINGHAM, M., MULLER, H. & THOMAS, B.T., 2002: Algorithm evaluation by probabilistic fitness/cost analysis and application to image segmentation. – In: SUTER, D. & BAB-HADIASHAR, A. (Hrsg.): *Proceedings of the 5th Asian Conference on Computer Vision (ACCV2002)*. – Asian Federation of Computer Vision Societies (AFCV), pp. 580–586.
- GERKE, M., STRAUB, B.-M. & KOCH, A., 2001: Automatic detection of buildings and trees from aerial imagery using different levels of abstraction. – In: DGPF Tagung Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation: Geodaten schaffen Verbindungen. – DGPF, Konstanz.
- HAALA, N. & BRENNER, C., 1999: Extraction of buildings and trees in urban environments. – *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, **54** (2–3): 130–137.
- HARALICK, R.M. & SHAPIRO, L.G., 1992: *Computer and Robot Vision*. – 1, 672 S., Addison-Wesley, Reading.
- HOFFMANN, A., VAN DER VEGT, J.W. & LEHMANN, F., 2000a: Die automatisierte Aktualisierung von Karten: Neue Methoden mit Daten der digitalen Kamera HRSC-A. – *Kartographische Nachrichten*, **50** (5): 211–217.
- HOFFMANN, A., VAN DER VEGT, J.W. & LEHMANN, F., 2001: Die automatisierte Aktualisierung von Karten: Neue Methoden mit Daten der digitalen Kamera HRSC-A. – In: ALBERTZ, J. (Hrsg.): *20. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF im Rahmen der InterGeo 2000*. – pp. 394–401, DGPF, Berlin.
- HOFMANN, A.D., MAAS, H.-G. & SCHULZE, M., 2002: Nachbarschaftsbasierte Segmentierung in Flugzeuglaserscannerdaten. – In: SEYFERT, E. (Hrsg.): *Zu neuen Märkten auf neuen Wegen mit neuer Technik. Vorträge 22. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF*. 24.–26. September 2002 in Neubrandenburg. – pp. 271–278, DGPF.
- HOFMANN, P., 2001a: Detecting buildings and roads from IKONOS data using additional elevation information. – *Geo-Informationssysteme*, **14** (6): 28–33.
- HOFMANN, P., 2001b: Detecting informal settlements from IKONOS image data using methods of object oriented image analysis – an example from Cape Town (South Africa). – In: JÜRGENS, C. (Hrsg.): *Remote sensing of urban areas/Fernerkundung in urbanen Räumen*. 35. – pp. 107–118, Regensburg.
- LESER, C., 2002a: Biotoptypenkartierung anhand hochauflösender Flugzeugscannerdaten – Entwicklung operationeller Methoden unter komplizierten Rahmenbedingungen. – In: SEYFERT, E. (Hrsg.): *Zu neuen Märkten auf neuen Wegen mit neuer Technik. Vorträge 22. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF*. 24.–26. September 2002 in Neubrandenburg. – pp. 175–183, DGPF.
- LESER, C., 2002b: Operationelle Biotoptypenkartierung mit HRSC-Daten – Probleme und Lösungsansätze. – In: BLASCHKE, T. (Hrsg.): *Fernerkundung und GIS: Neue Sensoren – innovative Methoden*. – pp. 88–97, Wichmann, Heidelberg.

- LEUKERT, K., 2002: Untersuchung zur Segmentierung von Satellitenbilddaten für die Extraktion von GIS-Objekten. – In: SEYFERT, E. (Hrsg.): Zu neuen Märkten auf neuen Wegen mit neuer Technik. Vorträge 22. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF. 24.-26. September 2002 in Neubrandenburg. – pp. 237–244, DGPF.
- LEVINE, M.D. & NAZIF, A.M., 1985: Dynamic measurement of computer generated image segmentations. – *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, PAMI-7* (2): 155–164.
- MEINEL, G., NEUBERT, M. & REDER, J., 2001: The potential use of very high resolution satellite data for urban areas – first experiences with IKONOS data, their classification and application in urban planning and environmental monitoring. – In: JÜRGENS, C. (Hrsg.): Remote sensing of urban areas/Fernerkundung in urbanen Räumen. – 35: 196–205, Regensburg.
- MÜLLER, H., 2001: 3D-Stadtmodelle Techniken und Anwendungen. – In: ALBERTZ, J. (Hrsg.): 20. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF im Rahmen der InterGeo 2000. – pp. 113–120, DGPF, Berlin.
- NEUBERT, M. & MEINEL, G., 2002: Fortführung von Geobasisdaten durch die segmentbasierte Auswertung von IKONOS-Daten – erste Ergebnisse. – In: SEYFERT, E. (Hrsg.): Zu neuen Märkten auf neuen Wegen mit neuer Technik. Vorträge 22. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF. 24.-26. September 2002 in Neubrandenburg. – pp. 403–408, DGPF.
- NIEMEYER, I. & CANTY, J., 2001: Knowledge-based analysis of change images by object-oriented post-classification. – In: JÜRGENS, C. (Hrsg.): Remote sensing of urban areas/Fernerkundung in urbanen Räumen. – 35: 232–240, Regensburg.
- NIEMEYER, I., CANTY, M.J. & BAATZ, M., 1999: Fractal-hierarchical recognition for safeguards purposes. – 2nd International Symposium Operationalization of Remote Sensing, ITC, Enschede.
- PILZ, H. & STROBEL, J., 2002: Versiegelungsanalyse auf Basis digitaler Farborthofotos mittels objektorientierter Bildverarbeitung. – In: BLASCHKE, T. (Hrsg.): Fernerkundung und GIS: Neue Sensoren – innovative Methoden. – pp. 159–168, Wichmann, Heidelberg.
- SCHIEWE, J., 2001: Ein regionen-basiertes Verfahren zur Extraktion der Geländeoberfläche aus Digitalen Oberflächen-Modellen. – *Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation*, 2001(2): 81–90.
- SCHIEWE, J., 2002: Konzeption einer Vernetzung von Segmentierungs- und Klassifizierungsverfahren. – In: SEYFERT, E. (Hrsg.): Zu neuen Märkten auf neuen Wegen mit neuer Technik. Vorträge 22. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF. 24.-26. September 2002 in Neubrandenburg. – pp. 405–412, DGPF.
- SCHIEWE, J. & TUFTE, L., 2001: Multi-skalige Klassifizierung von hochauflösenden Bilddaten. – In: ALBERTZ, J. (Hrsg.): 20. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF im Rahmen der InterGeo 2000. – pp. 44402–409, DGPF, Berlin.
- SCHIEWE, J. & TUFTE, L., 2002: Potenzial regionen-basierter Verfahren für die integrative Auswertung von GIS- und Fernerkundungsdaten. – In: BLASCHKE, T. (Hrsg.): Fernerkundung und GIS: Neue Sensoren – innovative Methoden. – pp. 42–52, Wichmann, Heidelberg.
- SCHIEWE, J., TUFTE, L. & EHLERS, M., 2001: Potential and problems of multi-scale segmentation methods in remote sensing. – *Geo-Informations-Systeme*, 14 (6): 34–39.
- SCHOUTEN, T.E. & KLEIN GEBBINCK, M.S., 1995: Quality measures for image segmentation using generated images. – *Image and Signal Processing for Remote Sensing II (S.P.I.E)*, Washington.
- SCHOUTEN, T.E., KLEIN GEBBINCK, M.S., SCHOENMAKERS, R.P.H.M. & WILKINSON, G.G., 1994: Finding thresholds for image segmentation. – *Image and Signal Processing for Remote Sensing (S.P.I.E.)*, Rome.
- TOPOSYS, 2002: [www.toposys.de](http://www.toposys.de).
- YANG, L., ALBREGTSEN, F., LÖNNESTAD, T. & GRÖTTUM, P., 1995: A supervised approach to the evaluation of image segmentation methods. – In: HLAVAC, V. & SARA, R. (Hrsg.): CAIP'95 Proceedings. – 970, 649–654, Springer, Berlin.
- YASNOFF, W.A., MUI, J.K. & BACUS, J.W., 1977: Error measures for scene segmentation. – *Pattern Recognition*, 9: 217–231.
- ZHANG, Y.J., 1996: A survey on evaluation methods for image segmentation. – *Pattern Recognition*, 29 (8): 1335–1346.
- ZHANG, Y.J. & GERBRANDS, J.J., 1994: Objective and quantitative segmentation evaluation and comparison. – *Signal Processing*, 39 (1–2): 43–54.

Anschrift des Verfassers:

Dipl.-Geogr. LARS TUFTE  
Steinstraße 81, D-44534 Lünen  
Tel.: 0174-9360385  
e-mail: [tufte@gis-berater.de](mailto:tufte@gis-berater.de)

Manuskript eingereicht: Februar 2003  
Angenommen: April 2003

## Erfassung der Landnutzung und naturschutzrelevanter Flächen am Starnberger See und im Naturschutzgebiet Osterseen mit Hilfe von Hyperspektraldaten

KATHARINA DREXEL, Stephanskirchen

**Keywords:** remote sensing, land use seizing, nature protection, CASI, hyperspectral data, Maximum Likelihood, spectral indices

**Zusammenfassung:** Innerhalb des Forschungsprojekts AQUATIC wurde im September 1999 das im Alpenvorland gelegene Starnberger See- und Osterseengebiet mit einem CASI-Scanner befliegen. Dieser Hyperspektralscanner nimmt Wellenlängen von Blau bis NIR auf. Den Schwerpunkt vorliegender Arbeit bildete eine Maximum Likelihood-Klassifikation. Die Verifikation erfolgte anhand einer Confusion Matrix. Um eine Verbesserung des Klassifikationsergebnisses zu erzielen, wurden zusätzlich spektrale Indices unterschiedlicher Wellenlängen getestet.

Insgesamt ergaben sich 37 Landnutzungsclassen. Mit Abstand die besten Klassifikationsergebnisse entstanden für spektral relativ einheitliche Oberflächen wie Gewässer oder Ackerflächen. Auch verschiedene Typen von Feuchtgebietvegetation ließen sich gut differenzieren. Am wenigsten befriedigend funktionierte der Klassifikationsalgorithmus bei Wald (Ausnahme Fichten).

Von den spektralen Indices erzielten Simple Ratios weitaus die besten Resultate. Die verwendeten Wellenlängen der optimal geeigneten Indices lagen im NIR und im Rot, jedoch erzielte auch die Verwendung des Blau- anstatt eines Rotkanals teilweise eine Verbesserung der Klassifikation. Die unterschiedlichen Ergebnisse für diverse Landnutzungsformen sowie die Wirkung einzelner Vegetationsindices auf das Resultat werden diskutiert.

**Summary:** *Seizing the land use and nature protection-relevant surfaces at Lake Starnberg and in the nature reserve Osterseen by hyperspectral data.* Within the research project AQUATIC a flight above Lake Starnberg and the Osterseen area, situated in the Alpine foreland, was realized in September 1999 with a CASI scanner. This hyperspectral scanner takes up wavelengths of blue to NIR. The focus of that study consisted in a Maximum Likelihood classification. The verification was based on a confusion matrix. In order to obtain an improvement of the classification result, spectral indices of different wavelengths were additionally tested.

Altogether 37 land use classes resulted. Far the best classification results developed for spectrally relatively uniform surfaces such as water or areas of arable land. Also different types of humid area vegetation could be differentiated well. Few satisfying the classification algorithm worked with forest (excepted spruces).

From the spectral indices Simple Ratios obtained by far the best results. The used wavelengths of the most optimally suitable indices lay in the NIR and red, however also the use of blue instead of a red channel partly obtained an improvement of the classification. The different results for various land use forms as well as the effect of individual vegetation indices on the result are discussed.

### 1 Einleitung

Im September 1999 fand im Rahmen des Forschungsprojekts AQUATIC eine Befliegung von Starnberger See und Osterseengebiet mit einem CASI-Scanner (Compact

Airborne Spectrographic Imager) statt. Ziel dieses Projekts ist, verschiedene Methoden der computergestützten Auswertung von Fernerkundungsdaten zu testen, nachdem Arbeiten im Gebiet bisher nur auf visueller Interpretation von Schwarz-Weiß-, Color-

**Tab. 1:** CASI-Kanäle, mit denen die Auswertung durchgeführt wurde.

Kanal	Wellenlänge (Beginn des Kanals)	Breite in nm
1	489	11
2	500	12
3	522	12
4	556	11
5	567	11
6	578	11
7	624	12
8	636	12
9	681	12
10	693	11
11	704	12
12	716	12
13	727	12
14	739	12
15	750	12
16	773	12
17	830	13
18	853	13
19	899	14
20	922	14

und Infrarotaufnahmen beruht hatten (GROSSER, POHL & MELZER 1996).

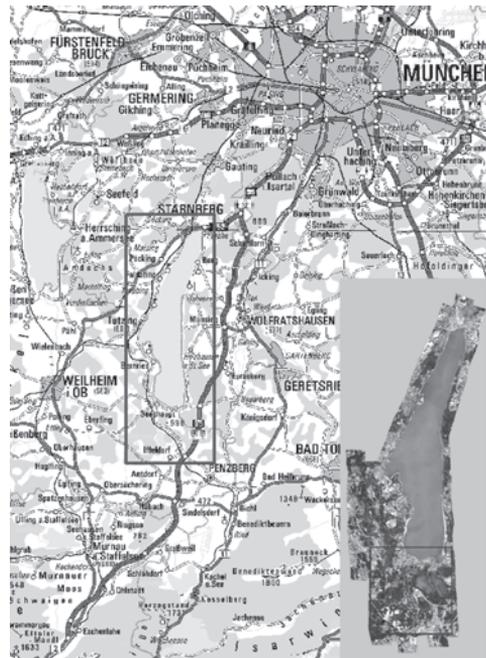
Das AQUATIC-Projekt wurde durch die Limnologische Station Iffeldorf des Departments für Ökologie und durch den Lehrstuhl für Landnutzungsplanung und Naturschutz des Departments für Ökosystem- und Landschaftsmanagement der Technischen Universität München-Weihenstephan initiiert. Die Auswertung der CASI-Daten erfolgte als Teilbereich des Forschungsprojekts von Oktober 2001 bis Juli 2002 in Form rein Grauwert-basierter Klassifikationen. Die Bodenpixelgröße betrug  $3\text{ m} \times 3\text{ m}$ . Der CASI ist ein Hyperspektralscanner, d. h. er erfasst Reflexionen in vielen Spektralkanälen sehr geringer Bandbreite (s. Tab. 1).

Zunächst wurde eine Befliegung mit 44 Kanälen durchgeführt. Da ein solcher Datensatz einen enormen Bedarf an Speicherplatz und Rechenkapazität verlangt hätte, erfolgte für die Auswertung eine Reduzierung auf 20 Kanäle. Ausgesondert wurden redundante Kanäle (z. B. im Grünbereich) und die Kanäle im Blaubereich, die zu viel „noise“ aufwiesen.

Für die Klassifikationen wurde die Fernerkundungssoftware ENVI verwendet.

## 2 Untersuchungsgebiet

Das Gebiet um Starnberger See und Osterseen erstreckt sich auf 20 bis 55 km südlich von München. Als so genannte Eiszerfallslandschaft weist diese Gegend einen regen Wechsel zwischen größeren und kleineren Seen, Wäldern (knapp die Hälfte des Untersuchungsgebiets ist bewaldet) und Kulturland auf, das hauptsächlich aus Wiesen und Weiden besteht. Vor allem in Gewässernähe befinden sich zahlreiche Biotope: Hochmoorreste, Kalkflachmoore, die in der Regel als Streuwiesen genutzt werden, Verlandungszonen, Röhrichte und Großseggenriede. Die erfassten Parameter aus dem aquatischen und ufernahen terrestrischen Bereich sollen als Informationsebene zukünftiger Gewässerentwicklungs- und FFH-Managementpläne dienen.



**Abb. 1:** Übersicht über Gesamtgebiet, Gesamtdatensatz und Testausschnitt Osterseen.

## 3 Datengrundlagen und Methoden

Im Vorfeld wurde eine unüberwachte Klassifikation (Isodata, K-means) durchgeführt,

um zu testen, ob sich auch mit dieser Methodik verwertbare Ergebnisse erzielen lassen.

Den Schwerpunkt der Auswertung stellte eine überwachte Klassifikation dar, wobei hier nur auf Maximum Likelihood eingegangen wird, das mit Abstand die besten Klassifikationsergebnisse erzielte.

Zunächst wurden vor Ort Trainingsgebiete mit einer Mindestgröße von 200 Pixel aufgenommen. Diese wurden anschließend spektralen Analysen unterzogen (Spektralprofile, Pixel Purity Index, Spektralkurven, Spectral Analyst). Diese Analysen ermöglichen einen Überblick über die Qualität von ausgewiesenen Trainingsklassen, ohne eine

**Tab. 2:** Getestete spektrale Indices, die sich für eine Klassifikation mit Maximum Likelihood eignen.

Name	Autor, Jahr	Berechnung lt. Autor	Berechnung mit CASI-Kanälen
<b>Visible Ratios</b>			
Carter	Carter, 1993	DN (695) / DN (420)	DN (693–703) / DN (489–499)
Lichtenthaler	Lichtenthaler et al., 1996	DN (440) / DN (690)	DN (489–499) / DN (681–692)
SRPI <sup>1</sup>	Peñuelas et al., 1995	DN (430) / DN (680)	DN (489–499) / DN (636–645)
SR (grün/blau)	George, 1997	DN (560) / DN (440)	DN(556–566) / DN (489–499)
<b>Visible/NIR Ratios</b>			
PSSRa	Lichtenthaler et al., 1996	DN (800) / DN (680)	DN (773–784) / DN (681–691)
PSSRb	Blackburn, 1998	DN (800) / DN (635)	DN (773–784) / DN (636–647)
PSSRc <sup>2</sup>	Blackburn, 1998	DN (800) / DN (470)	DN (773–784) / DN (489–499)
Lichtenthaler	Lichtenthaler et al., 1996	DN (440) / DN (740)	DN (489–499) / DN (739–749)
Gitelson & Merzylak	Gitelson & Merzylak, 1996	DN (750) / DN (550)	DN (750–761) / DN (556–566)
PSNDa	Lichtenthaler et al., 1996	$\frac{DN(800) - DN(680)}{DN(800) + DN(680)}$	$\frac{DN(773-783) - DN(681-692)}{DN(773-783) + DN(681-692)}$
PSNDb	Blackburn, 1998	$\frac{DN(800) - DN(635)}{DN(800) + DN(635)}$	$\frac{DN(773-784) - DN(636-647)}{DN(773-784) + DN(636-647)}$
PSNDc <sup>3</sup>	Blackburn, 1998	$\frac{DN(800) - DN(470)}{DN(800) + DN(470)}$	$\frac{DN(773-784) - DN(489-499)}{DN(773-784) + DN(489-499)}$
SAVI <sup>4</sup>	Huete 1988	$\frac{DN(NIR) - DN(red) * (1+L)}{DN(NIR) + DN(red) + L}$ (L = [0;1])	NIR = 773–784, red = 681–692 NIR = 773–784, red = 681–692 (L = 0.5, 0.75, 1)
OSAVI <sup>5</sup>	Rondeaux et al., 1996	$\frac{DN(NIR) - DN(red) * (1+L)}{DN(NIR) + DN(red) + L}$ (L = 0.16)	NIR = 773–784, red = 681–692
GNDVI <sup>6</sup>	Gitelson et al., 1996	$\frac{DN(750) - DN(530-570)}{DN(750) + DN(530-570)}$	DN (750–761) – DN (556–566) DN (750–761) + DN (556–566)
SIPI <sup>7</sup>	Zarco-Tejada, Miller, 1999	$\frac{DN(800) - DN(450)}{DN(800) + DN(650)}$	DN (773–783) – DN (489–499) DN (773–783) + DN (636–647)
<b>Red Edge Reflectance Indices</b>			
Gitelson & Merzylak	Lichtenthaler et al., 1996	DN (750) / DN (700)	DN (750–761) / DN (693–703)
Carter	Carter, 1993	DN (695) / DN (760)	DN (693–703) / DN (750–761)
Vogelmann	Vogelmann, 1993	DN (740) / DN (720)	DN (739–749) / DN (716–726)

<sup>1</sup> Simple Ratio Pigment Index

<sup>2</sup> Pigment-Specific Simple Ratio

<sup>3</sup> Pigment-Specific Normalized Difference

<sup>4</sup> Soil Adjusted Vegetation Index

<sup>5</sup> Optimized Soil Adjusted Vegetation Index

<sup>6</sup> Green Normalized Difference Veg. Index

<sup>7</sup> Structure Intensive Pigment Index

zeitaufwendige Probeklassifikation durchführen zu müssen.

Die eigentliche Klassifikation wurde sowohl mit wenigen, durch Zusammenfassung verschiedener Landnutzungstypen entstandenen, Trainingsklassen als auch mit einer sehr großen Anzahl von bis zu 37 Klassen durchgeführt (s. Kap. 4.2, Tab. 3). Diese genaue Differenzierung ergab sich im Lauf der Probeklassifikationen, da sich so die Verwechslungsgefahr unterschiedlicher Trainingsklassen bestmöglich vermeiden ließ.

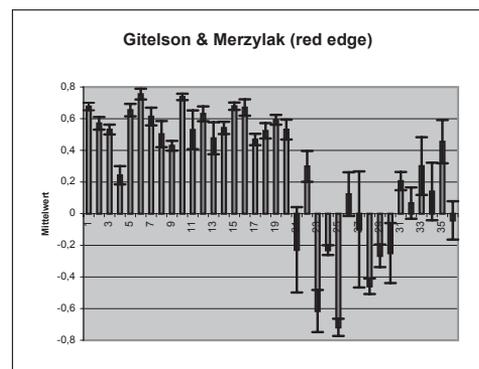
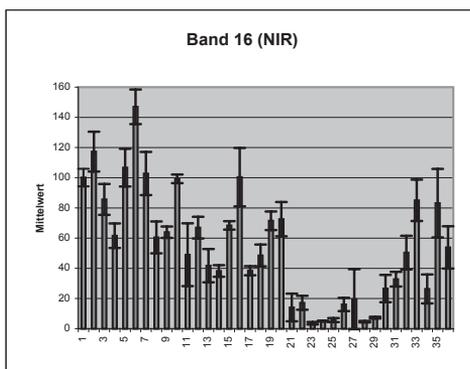
Verifiziert wurden die Ergebnisse in stichprobenartigen Kontrollgängen im Gelände sowie einer Confusion Matrix (Error Matrix) unter Berücksichtigung der Gesamtgenauigkeit bzw.  $\kappa$ -Koeffizient sowie Producer's und User's Accuracy. Diese Größen ergeben sich aus der Anzahl der korrekt klassifizierten Pixel in Relation zur Pixel-Gesamtzahl der Trainingsklasse (Producer's Accuracy) bzw. aus dem Verhältnis, in welchem die korrekt klassifizierten Pixel einer Klasse und die Gesamtzahl aller klassifizierten Pixel innerhalb einer Ergebnisklasse vorliegen (User's Accuracy). Ein hoher Wert für die Producer's Accuracy bedeutet demnach, dass die entsprechende Trainingsklasse weitgehend homogen ist, ein hoher Wert in der User's Accuracy dagegen, dass die erhaltenen Landbedeckungsklassen gut voneinander zu trennen sind.

Zur Verbesserung der Ergebnisse fanden im nächsten Schritt arithmetische Operationen zwischen einzelnen Kanälen statt. Die

getesteten spektralen Indices lassen sich in Visible Ratios, Visible/NIR Ratios und Red Edge Reflectance Indices einteilen (s. Tab. 2).

Da eine Klassifikation mit allen in der Literatur (JACKSON et al. 1983, CLEVERS 1990, GAMON et al. 1992 u. a.) verwendeten Indices zu aufwendig geworden wäre, wurden nur diejenigen verwendet, deren Grauwerte innerhalb der Trainingsklassen keine allzu große Streuung aufwiesen. Als Maß zur Auswahl dienten Mittelwert und Median der Standardabweichungen der Grauwerte über alle Trainingsklassen im NIR-Kanal mit der Bandbreite 773 bis 784 nm, weil dieser im Datensatz ein Reflexionsmaximum für Vegetation – und daher für alle relevanten Klassen – darstellte. Abb. 2 zeigt Mittelwert und Standardabweichung der Grauwerte jeder Klasse für den betreffenden NIR-Kanal sowie beispielhaft für den Red Edge Index GITELSON & MERZYLAK, einer der am besten geeigneten Indices für eine Maximum Likelihood– Klassifikation (s. Kap. 4.3).

Aus der Grauwertverteilung über die einzelnen Klassen für diesen NIR-Kanal ergab sich, dass die Standardabweichung vom mittleren Grauwert einer Klasse über alle Klassen gerechnet ein arithmetisches Mittel von 20,4% aufwies. In Anlehnung an diesen Wert wurde das zulässige Maximum für die mittlere Standardabweichung eines Vegetationsindex' auf einen etwas höheren Wert (25%) gesetzt. Um Extremwerte einzelner



**Abb. 2:** Grauwertverteilung (Mittelwert und Standardabweichung) aller Trainingsklassen für den NIR-Kanal 16 (773 bis 784 nm) und den Vegetationsindex GITELSON & MERZYLAK (NIR/Rot).

Klassen nicht zu sehr zu gewichten, wurde zudem der Median der Standardabweichungen berücksichtigt. Dieser betrug beim o.g. NIR-Kanal 14,9%.

Indices, deren Standardabweichungen im Mittel mehr als 25% vom mittleren Grauwert der jeweiligen Klasse betrug und deren Standardabweichungen einen Median von mehr als 15% ergaben, wurden nicht für die Klassifikation verwendet.

Die verbleibenden spektralen Indices wurden – nach Streckung auf 256 Grauwerte (8 bit) – zunächst einzeln zu den bestehenden 20 CASI-Kanälen hinzugefügt, klassifiziert und verifiziert. Danach erfolgten weitere Klassifikationen mit verschiedenen Kombinationen von spektralen Indices (z. B. nach Art ihrer Berechnung, den verwendeten Kanälen oder durch Kombinationen derjenigen Indices, die die höchsten Werte für Producer's und User's Accuracy ergaben). Die Tests der Vegetationsindices erfolgten zur Einsparung von Rechenzeit mit einem Subset, das die Osterseen und den südlichen Teil des Starnberger Sees beinhaltete (s. Abb. 1).

Das endgültige Klassifikationsergebnis resultierte aus einer Mischung aus vier Datensätzen, kombiniert mit unterschiedlichen spektralen Indices, wobei immer diejenige Klasse zur Weiterverarbeitung ausgewählt wurde, die den höchsten ungewichteten Mittelwert aus Producer's und User's Accuracy aufwies.

Die Einzelpixel ausgewählter klassifizierter Datensätze wurden anschließend durch eine Kombination aus Minimum- und Maximumfilter und einer  $3 \times 3$ -Filtermatrix eliminiert. Anschließend wurden alle Ergeb-

nisklassen in Vektordaten umgewandelt. Die grafische Darstellung erfolgte anhand von Themenkarten (Maßstab 1:15 000 bzw. 1:5 000).

## 4 Ergebnisse

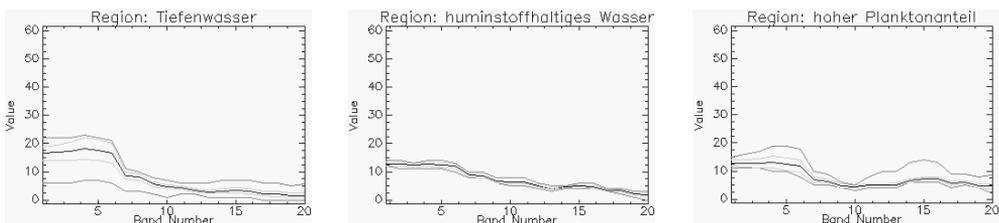
### 4.1 Unüberwachte Klassifikation

Das optimale Ergebnis bei der unüberwachten Klassifikation wurde mit 5 Klassen erreicht. Wurden mehr als 5 Klassen definiert, ergab sich lediglich eine (offenbar willkürliche) feinere Differenzierung im Bereich der Wälder, wobei einem Baum z. T. Pixel unterschiedlicher Klassen zugeordnet wurden.

Am deutlichsten erfolgte die Abgrenzung von Wasser- und Ackerflächen. Weitere Klassen waren Grünland, Feuchtsflächen und eine Mischklasse, bestehend aus Straßen, Mooren, Röhricht und Bäumen, wodurch die beschränkte Einsetzbarkeit dieser Art von Klassifikation bezüglich der Unterscheidung verschiedener Landnutzungstypen deutlich wird.

### 4.2 Maximum Likelihood-Klassifikation

Bei der überwachten Klassifikation nach dem Maximum Likelihood-Verfahren war ein deutlicher Zusammenhang zwischen dem Ergebnis der Klassifikation und den spektralen Analysen zu erkennen: Die besten Klassifikationsergebnisse lieferten Gewässer und Ackerflächen, anhand deren Spektralkurven ersichtlich wurde, dass die mittleren Grauwerte dieser Trainingsklassen die geringsten Standardabweichungen besa-



**Abb. 3:** Spektralkurven unterschiedlicher Gewässertypen (dargestellt sind mittlerer Grauwert (= mittlere Linie), Standardabweichung und maximaler bzw. minimaler Grauwert (= äußere Linien) im jeweiligen Kanal).

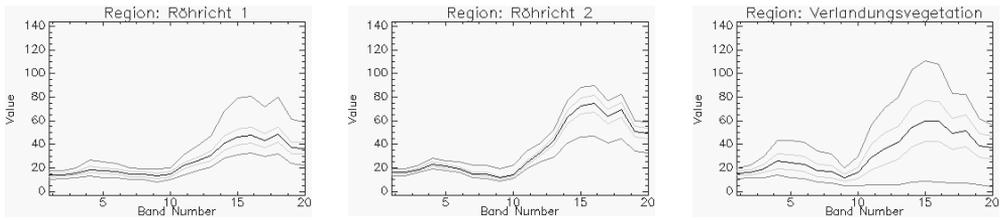


Abb. 4: Spektralkurven für verschieden Arten von Feuchtgebietvegetation.

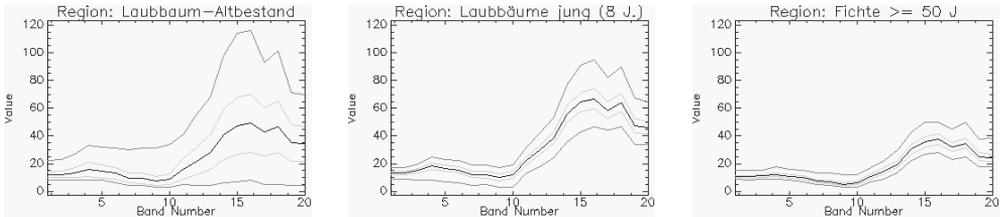


Abb. 5: Spektralkurven für Laubbäume und Fichten.

Tab. 3: Alle Landnutzungsklassen; --- = in der Landnutzungskarte zu einer Klasse zusammengefasst.

Landwirtschaftsflächen	Bäume	Vegetation der Feuchtgebiete und Gewässer	Wasserflächen	Siedlungs- und Verkehrsflächen
Mais	Fichten (≤ 15 J.)	Feuchtwiese	Tiefenwasser	Bahnlinie
Zwischensaat	Fichten (35–40 J.)	gemähte Feuchtwiese	mittlere Tiefe	Asphalt
Stoppelfeld	Fichten (≥ 50 J.)	Hochstauden	Flachwasser	Kies
unbedeckter Boden	Kiefern	Röhricht, Großseggenried	Sediment	Dach (Sonnenseite)
trockene Mähwiese	Hasel	Schilf	planktonreiches Wasser	Dach (Schattenseite)
frische Mähwiese	Laubbäume (ohne Hasel)	Hochmoor	Kleingewässer	Boote, Anleger
Weide	Laubbaum-Jungbestand (≤ 8 J.)	Verlandungsvegetation	huminstoffhaltiges Wasser	
Grünland gemäht		Schwimblattvegetation		
		submerse Vegetation		

ßen. Verschiedene Gewässertypen ließen sich zudem gut durch ihren unterschiedlichen Anteil an Plankton und Huminstoffen unterscheiden (s. u.).

Eine breite Streuung der Grauwerte zeigte sich dagegen bei Siedlungs- und Verkehrsflächen, die auch im klassifizierten Datensatz nicht immer deutlich zu erkennen waren. Bezüglich Vegetation zeichneten sich sowohl in den Spektralkurven als auch in der Klassifikation Vegetationseinheiten ab, die im Originaldatensatz optisch nicht ohne weiteres zu unterscheiden waren: So wurden beispielsweise zwei Typen von Röhricht klassifiziert (s. Abb. unten), die sich in Dichte und Schilfanteil unterschieden, des weiteren unterschiedliche Typen aquatischer Vegetation.

Am wenigsten befriedigend fiel das Klassifikationsergebnis für Bäume aus. Einzelne Laubbaumarten ließen sich gar nicht, Altersstufen nur partiell unterscheiden. Lediglich Fichten hoben sich gut von allen anderen Baumarten ab. Auch hier zeigt sich deutlich der Zusammenhang zwischen Klassifikationsergebnis und Standardabweichungen der Spektralkurven (Abb. 5).

Die Schwierigkeit der korrekten Klassifikation von Wald und Siedlung wurde bei Betrachtung des Klassifikationsergebnisses sofort durch das uneinheitliche Erscheinungsbild dieser beiden Landnutzungsformen, den so genannten „Pfeffer- und Salz-Effekt“, deutlich.

Mit Ausnahme der Laubbaumgattungen ist es bei dieser Art hoch auflösender Daten dennoch empfehlenswert, Trainingsklassen möglichst differenziert auszuweisen, um Verwechslungen verschiedener Landnutzungsformen zu minimieren. Insgesamt ergaben sich 37 Landnutzungsklassen (s. Tab. 3), die in der Landnutzungskarte zu 26 Klassen zusammengefasst wurden.

#### 4.3 Klassifikation mit spektralen Indices

Unter Berücksichtigung der Standardabweichungen vom mittleren Grauwert einzelner Klassen schieden u. a. die meisten Normalized Difference Indices insofern aus, als

ihre Grauwerte in den einzelnen Klassen eine zu hohe Standardabweichung vom mittleren Grauwert aufwiesen. Dies steht für eine zu breite Streuung der Pixelwerte, was zur Folge hat, dass sich verschiedene Trainingsklassen innerhalb des entsprechenden Vegetationsindex' nicht deutlich genug voneinander unterscheiden lassen. Bei den betreffenden Indices handelte es sich um:

- PRI (Photochemical Reflectance Index)
- NPCI (Normalized Pigment Chlorophyll Ratio Index)
- DVI (Difference Vegetation Index)
- DDVI (Difference Difference Vegetation Index)
- ARVI (Atmospherically Resistant Vegetation Index)
- GEMI (Global Environmental Monitoring Index)
- Vogelmann (berechnet als Normalized Difference Index)

Des Weiteren ließ sich mit einigen Indices aufgrund ihrer hohen Abweichung von der Normalverteilung aller Grauwerte (s. Kap. 5.3) gar keine Maximum Likelihood-Klassifikation in ENVI durchführen. Betreffende Indices waren:

- PSND<sub>a</sub> (Pigment-Specific Normalized Difference)
- TVI (Transformed Vegetation Index)
- IPVI (Infrared Percentage Vegetation Index)
- SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index)
- MSAVI2 (Second Modified Soil Adjusted Vegetation Index)

Beim Vergleich der Klassifikationsergebnisse schnitten Simple Ratios, also durch einfache Verhältnisbildung berechnete Indices, in der Regel am besten ab. Allerdings ließ sich kein Index finden, der für sämtliche Klassen eine Verbesserung des Ergebnisses bewirkt hätte.

Untenstehende Tabelle zeigt Producer's und User's Accuracy einiger ausgewählter Landbedeckungsklassen mit verschiedenen Vegetationsindices. Auffallend sind einerseits die großen Unterschiede einzelner Klassen über die Indices, andererseits die fast durchgängig höheren Werte, die bestimmte (v. a. Simple Ratio) Indices erreichten.

**Tab. 4:** Producer's Accuracy für ausgewählte spektrale Indices und Klassen

producer's accuracy (%)	CASI-Originaldaten	Originaldaten in Kombination mit:								CASI-Daten und 5 Indices*	CASI-Daten und alle Indices
		SRPI (b/rot)	PSSRa (NIR/rot)	PSSRc (NIR/b)	Lichtenthaler (b/NIR)	PSND b (NIR: rot)	SIPI (NIR:bl.:rot)	Gitelson & Merzylak (red e.)			
<i>Trainingsklasse</i>											
Mais	99,12	99,07	99,23	99,49	99,4	99,55	99,56	99,1	99,67	97,9	
Zwischensaat	99,78	99,31	99,46	99,74	99,65	99,13	99,37	99,55	99,96	93,74	
trockene Mähwiese	85,9	88,52	90,16	89,51	84,92	83,28	84,59	90,49	87,15	78,36	
frische Mähwiese	79,49	85,62	89,19	79,78	80,51	72,03	64,34	87,75	99,84	15,67	
Feuchtgrünland	62,73	62,82	60,96	59,44	63,58	61,55	61,38	62,73	83,68	54,81	
gemähtes Feuchtgrünland	97,75	98,31	98,03	94,1	98,6	96,63	97,47	97,75	98,6	96,91	
Laubbäume	48,29	45,68	50,24	47,31	38,01	42,74	39,8	47,47	38,16	33,77	
Laubbaum-Jungbestand	59,47	61,24	56,51	66,27	75,74	72,19	73,96	62,13	89,33	38,17	
Kiefern	72,48	72,48	73,83	73,83	67,79	73,15	73,83	75,84	81,67	68,46	
Fichten (alt)	94,51	94,51	94,7	95,27	96,59	96,59	96,02	94,32	96,62	94,89	
Fichten (jung)	98,78	98,78	98,78	98,78	99,39	99,39	99,39	98,78	96,95	93,29	
Röhricht 1	89,42	92,7	92,11	89,61	87,27	85,12	85,12	92,46	96,8	84,19	
Röhricht 2	83,33	88,62	78,46	88,62	86,59	76,02	80,89	88,21	98,99	73,98	
Schwimblattvegetation	80,39	78,92	84,31	84,31	81,86	82,84	80,88	85,29	83,82	37,75	
submerse Vegetation	100	89,29	89,29	89,29	85,71	89,29	89,29	89,29	100	0	
Tiefenwasser	96,82	97,04	96,88	97,35	99,23	96,88	99,76	99,56	99,33	10,38	
Flachwasser	100	100	100	100	100	100	100	100	99,35	93	
planktonreiches Wasser	74,7	75,9	63,86	96,39	100	85,54	99,4	92,17	99,7	74,7	
Bahnlinie	83,13	80,15	79,39	80,92	80,15	80,92	83,97	80,15	98,47	87,79	
Asphalt	92,4	93,3	92,3	93,1	92,7	92,8	92,8	92,4	95,3	93,8	
Dach (Sonnenseite)	91,88	90,86	91,88	90,86	90,86	90,86	90,86	91,88	93,67	21,83	
Mittelwert	85	88	85	88	89	88	88	89	94	71	

\* SRPI, PSSRc, Lichtenthaler, SIPI, G&M

**Tab. 5:** User's Accuracy für ausgewählte Indices und Klassen.

user's accuracy (%)	CASI-Originaldaten	Originaldaten in Kombination mit:								CASI-Daten und 5 Indices*	CASI-Daten und alle Indices
		SRPI (b/rot)	PSSRa (NIR/rot)	PSSRc (NIR/b)	Lichtenthaler (b/NIR)	PSND b (NIR: rot)	SIPI (NIR:bl.:rot)	Gitelson & Merzylak (red e.)			
<i>Ergebnisklasse</i>											
Mais	100	100	100	100	100	100	100	100	99,99	99,96	
Zwischensaat	100	100	100	100	100	100	100	100	99,95	100	
trockene Mähwiese	11,64	13,31	18,47	11,37	11,96	13,75	11,8	14,56	45,68	14,18	
frische Mähwiese	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
Feuchtgrünland	81,76	84,47	86,69	79,57	81,96	80,4	80,89	86,51	87,65	75,93	
gemähtes Feuchtgrünland	91,1	87,28	82,9	83,33	89,31	86,43	88,97	85,5	81,74	69,28	
Laubbäume	49,66	33,41	32,15	54,31	55,74	51,37	53,98	45,54	81,83	56,87	
Laubbaum-Jungbestand	48,55	59,65	59,87	53,33	45,23	42,88	41,12	57,85	75,56	39,94	
Kiefern	33,86	35,41	40,74	35,03	35,94	36,58	35,83	39,37	56,45	39,38	
Fichten (alt)	88,95	86,33	86,96	85,54	87,18	87,48	87,26	88,14	87,8	83,22	
Fichten (jung)	95,29	93,64	94,74	91,01	93,14	87,63	89,07	95,86	87,12	89,47	
Röhricht 1	86,28	86,42	85,78	85,79	85,5	84,99	85,09	86,27	97,52	84,72	
Röhricht 2	90,71	87,55	88,13	90,83	89,87	90,34	88,05	89,3	87,84	66,91	
Schwimblattvegetation	73,87	67,93	55,84	63,24	63,26	59,72	62,03	71,9	61,29	43,75	
submerse Vegetation	100	100	100	100	100	100	100	100	100	0	
Tiefenwasser	99,99	99,99	99,99	100	99,98	99,97	99,98	99,98	99,96	96,56	
Flachwasser	97,51	99,87	99,48	99,4	98,93	82,23	96,86	99,7	100	98,58	
planktonreiches Wasser	10,47	12,45	8,74	13,32	36,64	16,1	87,77	54,84	95,93	98,41	
Bahnlinie	97,2	98,13	97,2	96,36	98,13	98,15	100	95,45	88,97	97,46	
Asphalt	88,68	89,11	90,4	91,63	87,54	91,52	91,43	89,97	97,65	94,37	
Dach (Sonnenseite)	78,35	82,49	74,49	73,97	67,8	74,9	51,59	79,39	92,27	68,25	
Mittelwert	77	81	76	81	82	79	82	82	87	77	

\* SRPI, PSSRc, Lichtenthaler, SIPI, G&M

Für den gesamten Datensatz erzielten die Simple Ratio Indices LICHTENTHALER (489 bis 499 nm/ 739 bis 749 nm) und der Red Edge Index GITELSON & MERZYLAK (773 bis 784 nm/ 681 bis 692 nm) die besten Ergebnisse.

Eine Kombination von spektralen Indices bewirkte zumeist eine Verschlechterung des Datensatzes. Eine Ausnahme stellte eine Kombination aus den Indices SRPI, PSSRc, LICHTENTHALER, SIPI und GITELSON & MERZYLAK dar.

Nach Klassifikation mit den entsprechenden Indices erfolgte eine Bewertung der Ergebnisse durch die Error Matrix. Eine Klasse wurde als gut klassifiziert ausgewiesen, wenn die Producer's bzw. User's Accuracy einen Wert von mindestens 90% besaß, ein unbefriedigendes Ergebnis liegt dann vor, wenn der Wert einer Accuracy unter 70% liegt. Diese Richtwerte ergaben sich sowohl aus einem Vergleich von Ergebnisklassen mit stichprobenartigen Kontrollen im Gelände als auch aus Beispielen aus der Literatur (FOODY 2001).

**Tab. 6:** Bewertung von Producer's (oben) und User's Accuracy (unten) des Gesamtdatensatzes („gut“  $\geq 90\%$ ,  $70\% \leq$  „ausreichend“  $< 90\%$ , „unbefriedigend“  $< 70\%$ ).

*Producer's Accuracy*

Gute Ergebnisse	Ausreichende Ergebnisse	Unbefriedigende Ergebnisse
18 (20*) Klassen: Mais, Zwischensaat, unbedeckter Boden, gemähte Feuchtwiese, Hasel, Fichten ( $\leq 15$ J.), Hochmoor, Röhricht, submerse Vegetation, Schatten, Tiefenwasser im Schatten, mittlere Tiefe, Flachwasser, Kleingewässer, Sediment, huminstoffhaltiges Wasser, planktonreiches Wasser.	14 (13*) Klassen: Stoppelfeld*, trockene Mähwiese*, frische Mähwiese, Fichten ( $> 35$ J.), Hochstauden, Schwimmblattvegetation, Verlandungsvegetation, Tiefenwasser, Bahnlinie, Asphalt, Kies, Dachflächen, Boote.	5 (4*) Klassen: Weide/gemähte Wiese, Feuchtwiese, Laubbäume, Laubbaum-Jungbestand, Kiefern*.

*User's Accuracy*

Gute Ergebnisse	Ausreichende Ergebnisse	Unbefriedigende Ergebnisse
15 (16*) Klassen: Mais, Zwischensaat, Stoppelfeld, unbedeckter Boden, frische Mähwiese, Hasel, Hochmoor, Röhricht, submerse Vegetation, Schatten, Tiefenwasser, mittlere Tiefe, Flachwasser, huminstoffhaltiges Wasser.	11 (13*) Klassen: Weide/gemähte Wiese, Feuchtwiese, gemähte Feuchtwiese, Fichten ( $\leq 15$ J.), Fichten ( $> 35$ J.), Verlandungsvegetation, Tiefenwasser im Schatten, Asphalt, Dachflächen, Boote.	11 (8*) Klassen: Trockene Mähwiese, Laubbäume, Laubbaum-Jungbestand, Kiefern, Hochstauden, Schwimmblattvegetation*, Kleingewässer**, planktonreiches Wasser, Sediment*, Bahnlinie, Kies.

\*(\*) Verbesserung um eine (zwei) Stufe(n) nach Klassifikation mit einem spektralen Index

Tab. 6 gibt die Bewertung des Klassifikationsergebnisses anhand der Producer's und User's Accuracy für die einzelnen Klassen wieder.

Auch wenn sich generell die Frage stellt, ob die Verbesserungen der Klassifikationsergebnisse durch Hinzunahme spektraler Indices den hohen Aufwand solcher Untersuchungen rechtfertigen, ist festzuhalten, dass die Indices LICHTENTHALER (blau/NIR) und GITELSON & MERZYLAK (NIR/rot) für die Auswertung hochauflösender Hyperspektraldaten eine interessante Möglichkeit zur Verbesserung der Klassifikationsergebnisse darstellen können.

## 5 Diskussion

### 5.1 Unüberwachte Klassifikation

Bereits durch die unüberwachte Klassifikation wird deutlich, dass im vorliegenden Datensatz mit einer räumlichen Auflösung von 3 m nur Gewässer und Ackerflächen aufgrund ihrer relativen spektralen Homogenität eindeutig klassifiziert werden können. Dagegen tritt v.a. bei Bäumen das Problem der Mischpixel deutlich zutage. Dieses be-

ruht auf Unterschieden in der Licht- und Schattenverteilung innerhalb der Krone sowie in Behaarung und Stellung der Blattoberfläche. Daher konnte innerhalb der unüberwachten Klassifikation keine eigene Klasse für Wald entstehen.

Auch Siedlungs- und Straßenflächen weisen aufgrund von vieler Mischpixel, bedingt durch den Übergang unterschiedlicher Materialien und Oberflächen (Asphalt, Beton, Materialablagerungen, Übergänge zu Grünflächen), eine hohe spektrale Streuung auf und konnten keiner eigenen Klasse zugeordnet werden.

### 5.2 Maximum-Likelihood-Klassifikation

Da die überwachte Klassifikation die Möglichkeit bietet, gezielt Trainingsgebiete für bestimmte Landnutzungsformen zu definieren, ließen sich unkorrekte Klassifikationsergebnisse durch differenziertere Ausweisung von Trainingsklassen wesentlich besser beheben.

Die unterschiedlichen Gewässertypen ergaben sich aufgrund von Tiefe und stofflicher Zusammensetzung der jeweiligen Ge-

wässer: Klares Tiefenwasser wies ein deutliches Reflexionsmaximum im Blaukanal auf, während Flachwasser, bedingt durch das darunter befindliche Sediment aus See-tonen bzw. Seekreide, eine gelbliche Färbung annahm. Bei planktonreichem Wasser, v. a. Kleingewässern, verschob sich das Reflexionsmaximum in Richtung Grün, obwohl sich dies allein anhand rein visueller Auswertung der Daten nicht feststellen ließ. Genaue Angaben über die Phytoplankton-Konzentration der entsprechenden Seen am Tag der Befliegung lagen leider nicht vor. Untersuchungen mit CASI bei Seen in Wales hatten allerdings ergeben, dass Plankton bereits bei sehr geringen Mengen ( $0,5 \mu\text{g/l}$ ) die spektrale Signatur beeinflussen kann (GEORGE & MALTHUS 2001).

Huminstoffe senkten die Reflexion im gesamten Spektralbereich.

Spektrale Analysen zeigten für alle Arten von Vegetation einen relativ einheitlichen Red Edge (Wendepunkt der Steigungskurve zwischen Rot und NIR) bei ca. 730 nm, mit Ausnahme von submerser Vegetation, die, bedingt durch die Absorption von Wasser im NIR, nur einen Reflexionsmaximum im Grünen aufwies. Alle anderen Vegetationsformen ließen sich daher anstelle des Red Edge lediglich durch ihr Reflexionsmaximum im NIR unterscheiden, das eine Reichweite von 20 DN für Schwimmblattvegetation bis 140 DN (von 256 möglichen Grauwerten) für Mähwiese aufwies.

Für Äcker spielte das Alter des Bestandes insofern eine Rolle, als frisch ausgesäte Zwischensaat eine höhere Reflexion im NIR und Grün zeigte als seneszente Maispflanzen am Ende der Vegetationsperiode. Verschiedene Grünlandarten ließen sich dagegen eher anhand der Feuchte (rötliches Pfeifengras als dominante Feuchtwiesenpflanze) und der Regelmäßigkeit von Mahd oder Beweidung unterscheiden.

Das Zustandekommen zweier verschiedener Röhricht-Typen ist mit hoher Wahrscheinlichkeit darauf zurückzuführen, dass dichte, (fast) reine Schilfbestände eine bedeutend höhere Reflexion aufweisen als ein Mosaik aus Seggenried, Schilf und Feuchtwiesenvegetation. Unterschiedliche Arten

aquatischer Vegetation ließen sich insofern differenzieren als das Reflexionsmaximum im NIR von der Vegetation der Verlandungszone über Schwimmblattvegetation bis zur submersen Vegetation kontinuierlich abnahm (letztere wies nur noch einen Peak im Grünen auf, da das umgebende Wasser die Reflexion im NIR vollständig absorbierte).

Die Wirkung von Zellstrukturen ist nur bei der Unterscheidung von Nadel- und Laubbäumen entscheidend, da Nadeln einen größeren Anteil an Interzellularen besitzen, die die Absorption von Strahlung erhöhen (BACH 1995). Laubbaumgattungen konnten nicht unterschieden werden, da die Wirkung von Licht- und Schattenverteilung, Kronendichte u. a. oft mehr von einzelnen Individuen bzw. deren Standort abhängt.

Alle hier angeführten Betrachtungen bezüglich verschiedener Vegetationsformen gelten natürlich nur für den Monat September. Vermutlich wäre für die Erfassung mancher Vegetationseinheiten (z. B. Wasserpflanzenrasen) eine Befliegung im Hochsommer günstiger gewesen.

Zuletzt bleibt noch zu beantworten, warum die Auswertungsergebnisse für sämtliche Klassen im Subset besser ausfielen als im gesamten digitalen Bild. Ein Grund ist, dass in der gesamten Szene die Uferbereiche des Starnberger Sees enthalten sind. Diese zeichnen sich durch kleinräumige Übergänge zwischen Wasser und Land aus, die mit vorliegender Auflösung nicht immer genau abzugrenzen sind. Außerdem wirken sich Luftlichtüberlagerungen oder atmosphärische Streuungen auf größerer Fläche stärker aus. Deutlich wird dies beispielsweise anhand des Starnberger Sees, dessen Wasseroberfläche wesentlich mehr fehlklassifizierte Pixel aufwies als die der Osterseen. Des Weiteren äußern sich durch Dreh- und Kippbewegungen des Flugzeugs hervorgerufene Veränderungen des Einfallswinkels der Reflexion auf eine Länge von 30 km drastischer als in einem Ausschnitt der gesamten Szene von nur wenigen Kilometern Länge.

### 5.3 Klassifikation mit spektralen Indices

Je aufwendiger ein (Vegetations-)Index berechnet ist, desto unregelmäßiger ist die Grauwertverteilung aller Pixel im zu klassifizierenden Datensatz. Dies ist auch der Grund, warum die Trainingsklassen innerhalb der Simple Ratios niedrigere Standardabweichungen vom mittleren Grauwert besitzen als innerhalb der Normalized Difference und komplexerer Indices.

Folgende Abbildung zeigt die Grauwert-histogramme eines „einfachen“ Index' (PSSR<sub>b</sub>) im Vergleich zu komplizierter berechneten (hier stellvertretend IPVI und MSAVI2) Indices.

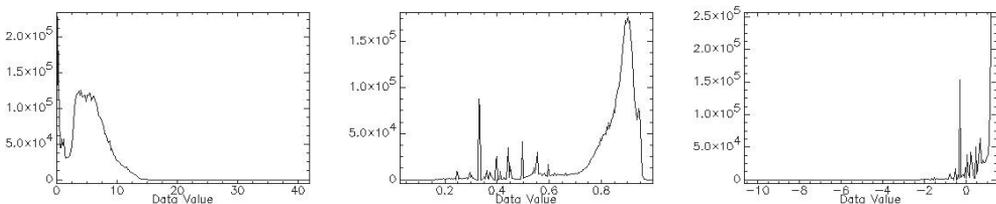
Hierbei wird deutlich, dass die Verteilung der Grauwerte nur bei der Simple Ratio PSSR<sub>b</sub> wenigstens annähernd einer Normalverteilung entspricht. Da diese Normalverteilung aber für eine Maximum Likelihood-Klassifikation absolute Voraussetzung ist, wird deutlich, warum sich mit den Indices MSAVI2 und IPVI, wie auch mit (D)DVI und TVI, keine Klassifikation durchführen ließ.

Das gute Ergebnis des Red Edge Index GITELSON & MERZYLAK verwundert nicht, da dieser genau die Wellenlängen miteinander verbindet, die im Datensatz das Reflexionsmaximum für Vegetation (773 bis 784 nm) und das Reflexionsmaximum für unbewachsene Oberflächen (635 bis 680 nm) bzw. Reflexionsminimum für Vegetation darstellen. Zu beachten ist hier allerdings, dass der NIR-Bereich von 725 nm bis 829 nm im vorliegenden CASI-Datensatz für Auswertungen nicht zur Verfügung stand.

Die relativ guten Resultate, die durch eine NIR/Blau-Kombination erzielt wurden (LICHTENTHALER, PSSR<sub>c</sub>), basieren vermutlich auf dem unterschiedlichen Reflexionsverhalten von chlorophyllarmem und -reichem Wasser innerhalb des Blau- bzw. NIR-Bereichs, da sich bei einer Division der entsprechenden Kanäle die erzielten Grauwerte mit zunehmendem Bewuchs der Wasserflächen vermindern (Lichtenthaler) bzw. steigern (PSSR<sub>c</sub>). Angesichts des hohen Anteils von Gewässern und Feuchtflächen im Untersuchungsgebiet bieten sich diese beiden Indices geradezu an.

Wie bereits in anderen Untersuchungen beobachtet (RONDEAUX et al. 1996), können sich Vegetationsindices in ihrer Wirkung aufheben. Auch in dieser Arbeit zeigte sich, dass eine Kombination von zu vielen bzw. allen Vegetationsindices das Ergebnis drastisch verschlechterte. Der Grund liegt in der Kombination von zu vielen Bändern mit nicht normalverteilten Grauwerten. Allerdings besteht die Tendenz, dass Indices, deren Grauwerte annähernd normalverteilt sind, auch in Kombination gut verwendet werden können, so z. B. LICHTENTHALER, PSSR<sub>c</sub>, GITELSON & MERZYLAK, SRPI und SIPI. Diese Indices werden ausschließlich aus Wellenlängen im Blau-, Rot- und NIR-Bereich berechnet.

Abschließend soll darauf hingewiesen werden, dass sich oben genannte Ergebnisse speziell auf CASI-Daten vom September beziehen. Es ist vorstellbar, dass sich bei Untersuchungen mit anderen Sensoren oder zu einer anderen Jahreszeit die zur Berechnung von Vegetationsindices optimalen Wellenlängen etwas verschieben können. Allgemeine Erkenntnisse, beispielsweise die bevor-



**Abb. 6:** Grauwert-histogramme der Indices PSSR<sub>b</sub> (links), IPVI (Mitte), MSAVI2 (rechts).

zugte Verwendung von Simple Ratio Indices oder die gute Eignung von Wellenlängen in Rot und NIR, die Beginn bzw. Ende des Reflexionsanstiegs für Vegetation darstellen, lassen sich nach Auffassung der Autorin jedoch auch auf entsprechend ähnliche Auswertungsmethoden anderer Datensätze übertragen.

## 6 Zusammenfassung und Schlussbemerkungen

Die Analyse der im September 1999 aufgenommenen CASI-Daten ergab, dass die günstigste Vorgehensweise für eine Maximum Likelihood-Klassifikation eine Ausweisung von möglichst vielen Trainingsklassen (in diesem Fall 37) ist, um Verwechslungen von Klassen weitgehend vorzubeugen. Die besten Klassifikationsergebnisse entstanden für große, homogene Landbedeckungsformen wie Wasser- oder Ackerflächen.

Gemessen an der Auflösung von  $3\text{ m} \times 3\text{ m}$  pro Pixel ließen sich Gewässer und Feuchtflächen relativ genau differenzieren. Verschiedene Gewässertypen waren anhand von Tiefe und Trübung durch Plankton oder Huminstoffe gut zu unterscheiden. Verschiedene Feuchtgebiete ließen sich durch unterschiedliche Vegetation einteilen (Hochmoor, Niedermoor, Verlandungszonen, Röhrichte unterschiedlicher Zusammensetzung). Am wenigsten gut geeignet für eine Klassifikation nach Maximum Likelihood waren Bäume und versiegelte Oberflächen.

Von den getesteten spektralen Indices erwiesen sich nur wenige als eine echte Verbesserung für das Klassifikationsergebnis. Berechnet wurden Indices mit Wellenlängen im sichtbaren Licht, „klassische“ Vegetationsindices (NIR/rot) und Red Edge Indices. Außerdem wurden sowohl Simple Ratios (durch einfache Verhältnisbildung entstandene Indices) berücksichtigt als auch Normalized Difference und komplizierter errechnete Indices (IPVI, TVI, GEMI, MSAVI2).

Eine wesentliche Erkenntnis war, dass kein Index ermittelt werden konnte, der für

alle Landnutzungsklassen eine optimale Verbesserung darstellte. Außerdem bewirkten die Simple Ratios zum großen Teil die besten Resultate, gemessen an Producer's und User's Accuracy der einzelnen Klassen.

Die Wellenlängen der am besten geeigneten Indices lagen in den Bereichen NIR-Rot (Reflexionsmaximum bzw. -minimum für Vegetation und Boden) und NIR-Blau. Eine Kombination von Vegetationsindices wirkte sich zumeist negativ auf das Klassifikationsergebnis aus. Eine Ausnahme stellten die Indices SIPI, PSSR<sub>c</sub>, LICHTENTHALER, SRPI und GITELSON & MERZYLAK dar, die sich sowohl einzeln als auch in Kombination gut verwenden ließen.

Auch wenn sich in Fall vorliegender Untersuchungen etliche Landbedeckungsformen, z. B. verschiedene Feuchtgebiete, relativ differenziert erfassen ließen (reine gegenüber gemischten Schilfbeständen, Feuchtwiesen in Unterscheidung zu mäßig feuchtem Grünland), zeichnet sich doch ab, dass Fernerkundung, zumindest in Zusammenhang mit überwachter Klassifikation, auch in Zukunft nicht den Gang ins Gelände ersetzen wird. Beispielsweise lassen sich im Gebiet nur Vegetationseinheiten, erkennbar durch massenhaft auftretende Individuen derselben Art, unterscheiden, jedoch sind keine feineren Unterteilungen wie einzelne Gesellschaften auszumachen. Außerdem ist nicht jede Art von Vegetation zu erfassen: Waldbodenpflanzen geben beispielsweise kein Signal zurück. Flächen mit hohem Mischpixelanteil (wie Ruderalstellen) sind ebenfalls sehr problematisch.

Trotz aller Schwierigkeiten sind Fernerkundungsdaten in der Regel gut geeignet für Voruntersuchungen, vor allem bei weit auseinander liegenden und/oder schwierig zugänglichen Biotopen. So kann eine Befliegung etwa die Entscheidung erleichtern, welche Gebiete überhaupt für eine Probenahme lohnenswert sind.

Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass eine automatisierte Klassifikation weniger subjektiv ist als eine rein visuelle Interpretation. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, Rasterdaten ohne Schwierigkeit in Vektordaten umzuwandeln, welche zur weiteren

Auswertung und grafischen Verarbeitung wesentlich besser geeignet sind.

### Danksagung

Danken möchte ich an dieser Stelle Prof. ARNULF MELZER sowie den Mitarbeitern der Limnologischen Station Iffeldorf für die Einrichtung eines hervorragend ausgestatteten Arbeitsplatzes. Fachliche Unterstützung erhielt ich außerdem durch die Mitarbeiter im AQUATIC-Projekt Dr. THOMAS SCHNEIDER, Dipl.-Geogr. THORSTEN ANDRESEN, Dipl.-Biol. CLAUDIUS MOTT und Dipl. Ing. (FH) STEFAN ZIMMERMANN.

### Literatur

- BACH, H., 1995: Die Bestimmung hydrologischer und landwirtschaftlicher Oberflächenparameter aus hyperspektralen Fernerkundungsdaten. – Dissertation am Institut für Geographie der Universität München – 1. Aufl., 175 S., Geobuch-Verlag, München.
- BLACKBURN, G.A., 1999: Relationships between Spectral Reflectance and Pigment Concentrations in Stacks of Deciduous Broadleaves – Remote Sensing of Environment, **70** (2): 224–237.
- BUITEN, H. & CLEVERS, J. (Hrsg.), 1990: Land observation by remote sensing, theory and applications – 1<sup>st</sup>ed., S., Gordon and Breach Science Publishers, Wageningen.
- FOODY, G.M., 2001: Status of land cover classification accuracy assessment – Remote Sensing of Environment, **80** (1): 185–201.
- GEORGE, D.G. & MALTHUS, T.J., 2001: Using a compact airborne spectrographic imager to monitor phytoplankton biomass in a series of lakes in north Wales – The Science of the Total Environment, **268** (1): 215–226.
- GROSSER, S., POHL, W. & MELZER, A., 1996: Untersuchung des Schilfrückgangs an bayerischen Seen – 1. Aufl., 139 S., Forschungsprojekt des Bayerischen Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen (Hrsg.), München.
- RONDEAUX, G., STEVEN, M. & BARET, F., 1996: Optimization of Soil-Adjusted Vegetation Indices. – Remote Sensing of Environment, **55** (2): 95–107.
- ZARCO, P.J., 1998: Optical Indices as Bioindicators of Forest Sustainability, Research Evaluation Course (REC) Report Number 1, May 4<sup>th</sup>–5<sup>th</sup>, York University Toronto.
- ZARCO-TEJADA, P.J. & MILLER, J.R., 1999: Optical Indices as Bioindicators of Forest Condition from Hyperspectral CASI data, presented at the 19<sup>th</sup> Symposium of the European Association of Remote Sensing Laboratories (EAR-SeL), Valladolid (Spain).

Anschrift der Autorin:

Dipl.-Ing. KATHARINA DREXEL  
 Althöhensteigstr. 1  
 D-83071 Stephanskirchen  
 Tel.: 0174-88 11 267 mobil  
 e-mail: kjd2000de@yahoo.de

Manuskript eingereicht: April 2003  
 Angenommen: Juni 2003



## Flächennutzungsentwicklung der Stadtregion Dresden seit 1790 – Methodik und Ergebnisse eines Langzeit-Monitorings

GOTTHARD MEINEL & KATHLEEN NEUMANN, Dresden

**Keywords:** remote sensing, land use, long-time monitoring, Dresden

**Zusammenfassung:** Der Verbrauch von Boden durch Siedlungsentwicklung ist ein kumulativer, inzwischen über Jahrhunderte anhaltender meist irreversibler Prozess. Die Wahrnehmung dieses derzeit drängendsten Umweltproblems in Deutschland ist nur in Bodenschutz-Fachkreisen ausgeprägt, nicht aber in der breiten Bevölkerung. Eine Erhebung, Analyse und Visualisierung der schleichenden und damit kaum wahrnehmbaren Entwicklung könnte das Problembewusstsein stärken. Für die Stadtregion Dresden wird deshalb auf Basis historischer Kartenwerke und Fernerkundungsdaten anhand von acht Zeitschnitten zwischen 1790 und 1998 die Flächenentwicklung aufgezeichnet und analysiert. Anschließend wird auf Basis eines Indikatoren-gestützten Analysekonzeptes die Flächennutzungsentwicklung im Zusammenhang mit der Bevölkerungsentwicklung und dem Bodenverbrauch beschrieben und bewertet.

**Summary:** *Land use development of the Region of Dresden since 1790 – Methods and results of a long-time monitoring.* The consumption of soil caused by the development of settlements is a cumulative process, which has been continuing since centuries and is mostly irreversible. Currently, this environmental problem is one of the most serious in Germany but it's only realized by experts of soil conservation. The data collection, analysis and visualization of this slowly and hardly perceivable process could strengthen the awareness of this problem. For eight time slots between 1790 and 1998 the land use of the region of Dresden has been digitized by means of historical maps and remote sensing data. Adapted on an indicator based data analysis the land use development in correlation with population and soil use is explained and evaluated.

### 1 Flächeninanspruchnahme durch Siedlungsentwicklung – ein unzureichend wahrgenommenes Umweltproblem

Für eine nachhaltige Entwicklung muss das Wirtschaftswachstum zwingend vom Naturverbrauch und der Umweltbelastung entkoppelt werden. Während es hier in einzelnen Bereichen wie Luft, Wasser und Klima in Deutschland schon Erfolge gibt, ist der Flächenverbrauch unvermindert und ein wirksamer Bodenschutz wird zur Kernaufgabe des Umwelt- und Ressourcenschutzes in den entwickelten Industriestaaten (DOSCH 2002). Dem Ziel, den Flächenverbrauch durch Versiegelung von 120 ha/Tag

in Deutschland im Jahre 1997 auf 30 ha/Tag in 2020 zu senken, ist man mit einem derzeitigen Wert von 131 ha/Tag weiter entfernt denn je (Deutscher Umweltindex DUX 2003).

Flächennutzungsänderungen, insbesondere Siedlungsentwicklungen, sind als Einzelmaßnahme oft kleinräumig. Durch ihre Vielzahl und die schleichende Entwicklung über lange Zeithorizonte sind derartige Prozesse aber nur sehr eingeschränkt sinnlich wahrnehmbar, obwohl sie in Kumulation zu einer erheblichen Umweltbelastung werden (SIEDENTOP 1999). Wenn es gelingt, diese Entwicklung an lokalen Beispielen über lange Zeiträume aufzuzeichnen, zu analysieren, zu bewerten und geeignet zu visualisieren, könnte dem Umweltproblem „Flächenver-

brauch“ zu einer deutlicheren Wahrnehmung verholfen werden.

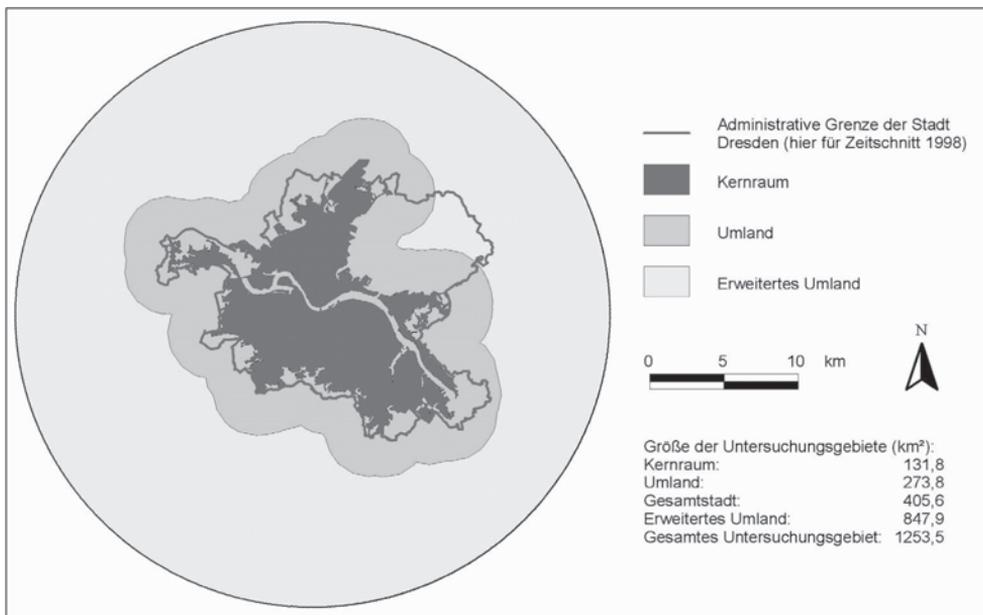
Diese Überlegungen sind Ausgangspunkt für das Forschungsprojekt „Langzeituntersuchung von Flächennutzungsänderungen und ihrer Auswirkung auf das Schutzgut Boden und die Landschaftsstruktur“, welches im *Institut für ökologische Raumentwicklung e.V.* seit 2001 bearbeitet wird. Ein Teil dieses Projektes befasst sich mit der Analyse der Siedlungsentwicklung der Stadtregion Dresden seit 1790. Ausgangspunkt der Forschungsarbeiten war unter anderem das 1998 von der Europäischen Union initiierte Projekt MURBANDY (Monitoring Urban Dynamics), in dessen Rahmen die Entwicklung der Flächennutzung von inzwischen 25 europäischen Städten bzw. Regionen innerhalb der vergangenen 50 Jahre nach einer einheitlichen Methodik aufgezeichnet wurde (European Environment Agency 2002).

In Erweiterung dieses Ansatzes werden bei dem Langzeitmonitoring neben aktuellen Fernerkundungsdaten auch historische Datenbestände wie topographische Karten und historische Luft- und Satellitenbilddaten

genutzt, GIS-technisch aufbereitet und ausgewertet. Da dieses ein relativ aufwendiger Arbeitsprozess ist, finden sich im Schrifttum bisher nur wenige Arbeiten zur Langzeitanalyse von Flächennutzungsentwicklungen (MEINEL 2001). Damit fehlen den Raum- und Umweltwissenschaften sowie der Planungs- und Umweltverwaltung grundlegende Informationen, die entscheidenden Einfluss auf zukünftige Entwicklungen haben könnten.

## 2 Das Untersuchungsgebiet Dresden

Das Projekt MURBANDY unterscheidet in den Untersuchungsstädten zwischen Kernraum und Umlandzone. Der Kernraum ergibt sich aus der zusammenhängenden Siedlungsfläche nach CORINE Land Cover (European Environment Agency 1997) ausgehend vom Siedlungsschwerpunkt jeder Stadt. Aufgrund der Ausdehnung des Dresdner Siedlungsraumes entlang des Elbtals und der Verschmelzung mit den anschließenden Städten Pirna, Freital und Radebeul wurde für Dresden der Kernraum zu-



**Abb. 1:** Gliederung des Untersuchungsgebietes Dresden.

sätzlich durch die administrative Stadtgrenze begrenzt (MEINEL et al. 1999). Das Umland (suburbaner Raum) wird durch eine Pufferzone um den Kernraum begrenzt, dessen Breite  $r$  in Abhängigkeit von der Größe des Kernraumes  $A_k$  nach

$$r = \frac{\sqrt{A_k}}{4}$$

erfolgt (Space Applications Institute 1998). Die Vereinigung von Kernraum und Umland ergibt die Gesamtstadt.

Für eine vertiefende Flächennutzungsanalyse wurde in Erweiterung des MURBANDY-Ansatzes eine zusätzliche zweite Umlandzone definiert. Sie umschließt die erste Umlandzone vollständig und grenzt das Untersuchungsgebiet in Form eines Kreises mit einem Radius von 20 km ab (Abb. 1). Die Siedlungsdichte in dem so definierten „Erweiterten Umland“ entspricht gut der Raumordnungskategorie „Ländlicher Raum“. Die Größe des Untersuchungsgebietes beträgt 1.254 km<sup>2</sup>.

Neben der Analyse siedlungsräumlicher Zusammenhänge und ihrer Entwicklung sollte die Flächennutzungsentwicklung im Kontext demographischer Veränderungen betrachtet werden. Die hierfür benötigten Bevölkerungszahlen lagen für den über 200-jährigen Betrachtungszeitraum nur für die administrative Stadtfläche Dresdens vor. Somit konnten auch die entsprechenden Analysen nur für die Stadt Dresden durchgeführt werden.

### 3 Datengrundlagen und Flächennutzungskartierung

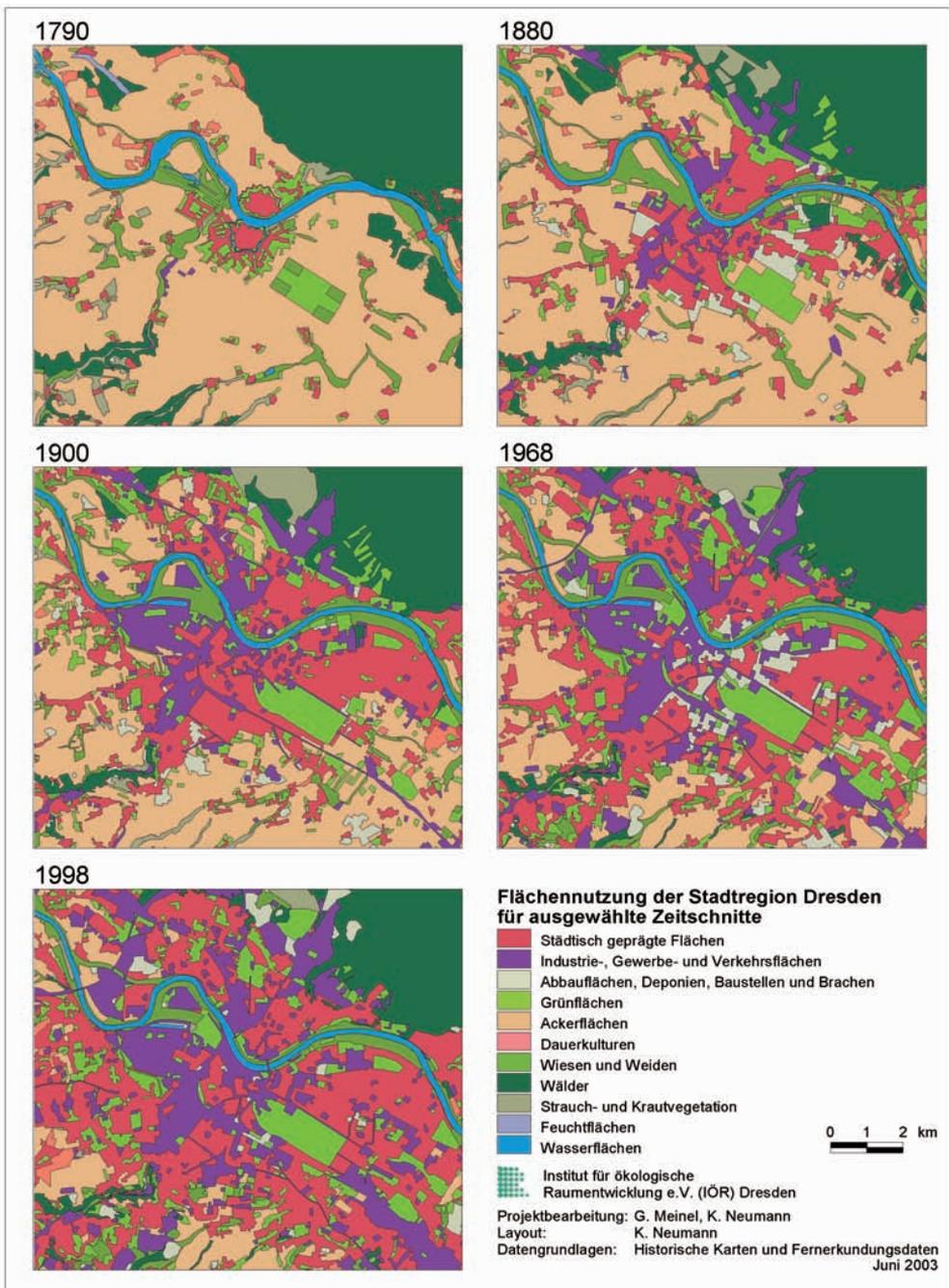
Durch die Erhebung im Projekt MURBANDY, die auf Satelliten- und Luftbilddaten beruhen, standen die Flächennutzungsmuster für folgende vier Zeitpunkte zur Verfügung: 1998 (IRS-1C-Satellitenbilder), 1986 (SPOT-Satellitenbilder), 1968 (CORONA-Satellitenbilder) und 1953 (Luftbilder). Für weiter zurückgehende Erhebungen musste auf historisches Kartenmaterial zurückgegriffen werden. Nach sorgfältiger Recherche (WITSCHAS 2002) wurden folgende Kartenwerke zur Erfassung der Flächennutzung benutzt: Messtischblätter (1940 und 1900), Äquidistantenkarten (um 1880) und Sächsische Meilenblätter (um 1790).

Mit diesen Kartenwerken waren für das Untersuchungsgebiet einheitliche Kartengrundlagen für die Flächennutzungserhebung gegeben, wenn auch die einzelnen Kartenblätter zeitlichen Differenzen unterworfen sind (NEUMANN 2002), denn bei dem großen Untersuchungsgebiet musste eine zeitliche Varianz von bis zu 10 Jahren zwischen den Einzelkarten der Kartenserien toleriert werden.

Zur Unterstützung der visuellen Interpretation wurden neben ATKIS DLM25 (Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem) auch alte Stadtpläne, Luftbilder und Topographische Karten herangezogen. Ausgewählte Beispiele der historischen Kartenwerke und Bilddaten werden in Abb. 2 gegenübergestellt.



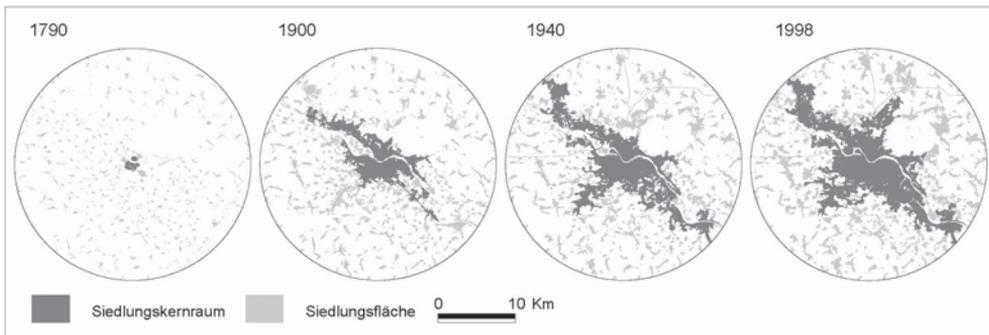
**Abb. 2:** Ausgewählte Kartiergrundlagen (Satelliten- und Luftbilddaten sowie historische Karten).



**Abb. 3:** Flächennutzung der Stadtregion Dresden für ausgewählte Zeitschnitte.

Im Vorfeld der Flächennutzungserfassung wurden die Satellitenbilder und Kartenwerke georeferenziert und mosaikiert.

Spezielle Probleme der Georeferenzierung von historischen Kartenwerken sowie Lösungsansätze zur Erzielung einer hohen La-



**Abb. 4:** Entwicklung der Siedlungskernräume, dargestellt an ausgewählten Zeitschnitten.

getreue, wie sie für den zeitlichen Vergleich von Flächennutzungsmustern Voraussetzung sind, werden von WALZ & BERGER (2003) diskutiert.

Die Flächennutzungskartierung erfolgte im Maßstab 1:25.000 nach einem um eine vierte Hierarchieebene erweiterten CORINE-Land-Cover-Klassifikationsschlüssel (Space Applications Institute 1998). Die Mindestgröße für Siedlungsflächen ist hier auf 1 ha, die von Freiflächen auf 3 ha festgelegt. Beispiele für die so gewonnenen Flächennutzungsmuster werden in Abb. 3 gegeben.

Ausgangspunkt der Kartierung war ein GIS-Datensatz der Flächennutzung des Untersuchungsgebietes, erhoben auf Basis eines IRS-1C-Satellitenbildmosaiks von 1998 (MEINEL et al. 1999). Die Flächennutzungsbestimmung der älteren Zeitschnitte erfolgte durch Computer-gestützte, visuelle Bildinterpretation auf Basis der jeweiligen georeferenzierten und mosaikierten Bilder oder Karten. Dabei wurde das jeweilige Flächennutzungsmuster den Bilddaten des nächst älteren Zeitschnittes überlagert und die jeweiligen Nutzungsänderungen rückwärtig editiert. Basierend auf den so gewonnenen acht GIS-Datensätzen wurde die Analyse der Flächennutzung mit den Geoinformationssystemen ArcInfo 8.2 und ArcView 3.2 durchgeführt.

Für die Analyse der Siedlungsstruktur wurde ein Siedlungskernraum generiert. Er stellt den zusammenhängenden Siedlungsraum ausgehend vom Mittelpunkt des Un-

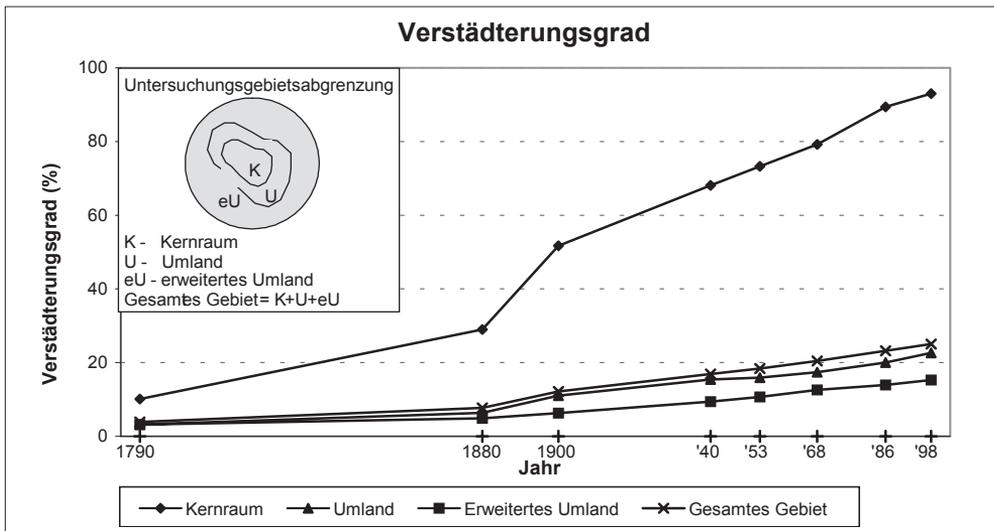
tersuchungsgebietes dar. Der Siedlungskernraum kann somit keine inselartige Siedlungsflächen besitzen, allerdings können innerhalb des Siedlungskernraumes siedlungsfreie Flächen existieren, so z. B. die Elbe mit ihren angrenzenden Wiesen. Ausgewählte Entwicklungsetappen der Siedlungskernräume zeigt Abb. 4. Die Siedlungskernräume stellen keine weitere Untersuchungsgebietsabgrenzung dar, sie dienen ausschließlich als Grundlage für eine vertiefende Raumstrukturanalyse (Kapitel 4.3).

#### 4 Analyse der Flächennutzungsentwicklung

Ziel der Datenanalyse ist die Beschreibung und Visualisierung der Siedlungsentwicklung. Sie umfasst neben klassenspezifischen Bilanzen der Entwicklung der Flächennutzung und daraus abgeleiteten Indikatoren wie dem Verstärterungsgrad auch raumstrukturelle Kenngrößen, die die räumlichen Entwicklungsmuster genauer beschreiben. Dazu gehören die quantitative Beschreibung der Kompaktheit der Siedlungskernräume sowie die Charakterisierung der Lage und des Integrationsgrades neuer Siedlungsflächen.

##### 4.1 Verstärterungsgrad

Die Flächennutzungsentwicklung im Untersuchungsgebiet unterlag einer großen Dynamik. So wuchs die Siedlungsfläche nicht nur im Kernraum, sondern auch im Umland



**Abb. 5:** Entwicklung des Verstädterungsgrades der verschiedenen Einheiten des Untersuchungsgebietes.

und erweiterten Umland während der letzten 200 Jahre ohne Unterbrechung. Als Indikator dafür wird der Verstädterungsgrad gewählt, der den Anteil der Siedlungsfläche an der Gesamtfläche darstellt (Abb. 5). In allen Gebietseinheiten ist eine Zunahme des Verstädterungsgrades zu verzeichnen. Die größte Entwicklungsdynamik wurde, aufgrund des raschen wirtschaftlichen Aufschwungs, während der Gründerzeit am Ende des 19. Jahrhunderts im Kernraum erreicht. Auffallend und Besorgnis erregend ist die nahezu lineare Siedlungsflächenzunahme im erweiterten Umland in den letzten 200 Jahren, die völlig unabhängig von der Bevölkerungs- und Wirtschaftsentwicklung sowie den gesellschaftlichen Rahmenbedingungen erfolgte.

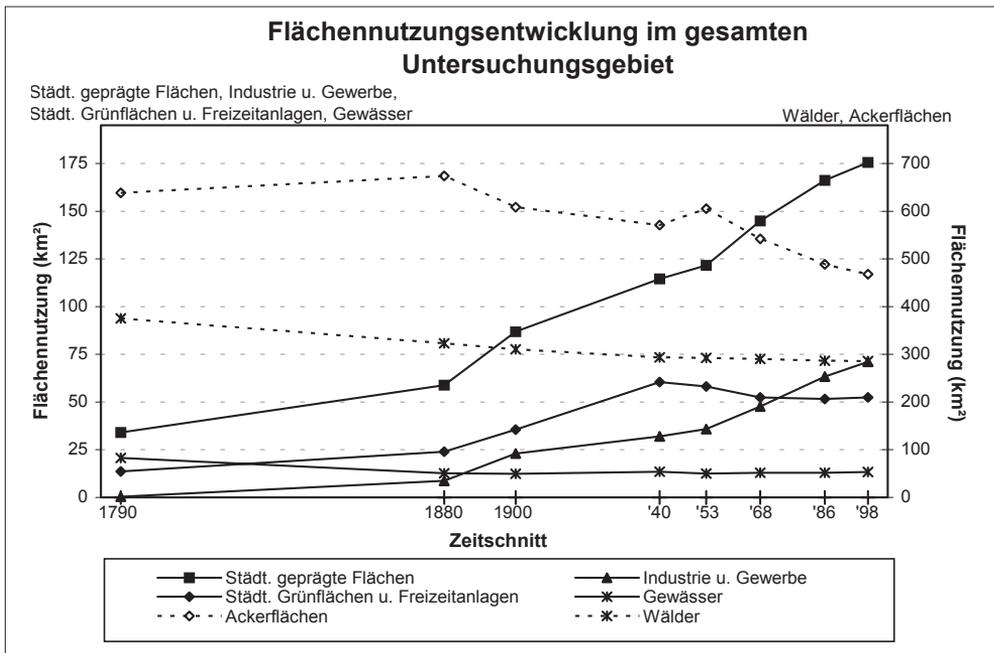
#### 4.2 Quantitative Flächennutzungsentwicklung

Betrachtet man die Entwicklung der Flächennutzungsarten im Detail, so ergeben sich folgende Tendenzen (Abb. 6): Die starke Zunahme der Siedlungsfläche erfolgte in erster Linie auf Kosten landwirtschaftlicher Nutz- und Waldflächen. Eine differenzierte Betrachtung der Siedlungsflächen zeigt, dass

hier die städtisch geprägten Flächen (dies sind in erster Linie Wohnflächen) sowie die Industrie- und Gewerbeflächen kontinuierlich zugenommen haben. Die stärkste Entwicklung ist während des wirtschaftlichen Aufschwungs Ende des 19. Jh. und nach dem Zweiten Weltkrieg zu verzeichnen. Es können jedoch auch rückläufige Entwicklungstendenzen innerhalb der Siedlungsfläche konstatiert werden. So ist bis Anfang der 50er Jahre die Zunahme städtischer Grün- und Freizeitflächen markant, die im Wesentlichen aus der Kleingartenentwicklung resultiert (ausgedehnte Anlage von Schrebergärten seit der Gründerzeit). In den anschließenden Jahren erfolgte ein zunehmend nach innen gerichteter Verdichtungsprozess, der bis heute zum Verlust derartiger Flächen führt.

Bei der Betrachtung der Verkehrsflächenentwicklung wird deutlich, dass sowohl die Entwicklung der Verkehrsnetzlänge als auch der Verkehrsfläche stark mit der Siedlungsflächenentwicklung korreliert. Das heißt, dass die Ausweitung der Siedlungsflächen seit über 200 Jahren auch einen Ausbau der Verkehrsinfrastruktur bedingen.

Der Freiraum wurde im Laufe der letzten 200 Jahre durch die zunehmende Intensivie-



**Abb. 6:** Entwicklung ausgewählter Flächennutzungsklassen im gesamten Untersuchungsgebiet.

rung der Landwirtschaft geprägt, naturnahe Vegetationsarten, z. B. Feuchtfleichen, Heiden, Moore sowie Strauch- und Übergangsv egetationen wurden dadurch stark zurück gedrängt.

#### 4.3 Raumstrukturelle Kenngrößen der Siedlungsentwicklung

##### 4.3.1 Kompaktheit des Siedlungskernraumes

Der Kompaktheitsgrad charakterisiert die Dichte der Siedlungsfläche auf der Grundlage eines Gravitationsansatzes. Er bestimmt die Kompaktheit des Siedlungsraumes in Abhängigkeit von Siedlungsflächengröße und -abstand und den daraus resultierenden räumlichen Wechselwirkungen. Je disperser die Siedlungsflächen im Raum verteilt und je kleiner die jeweiligen Siedlungsflächen sind, umso geringer sind die räumlichen Wechselbeziehungen und somit die Kompaktheit des Siedlungsraumes. Der Kompaktheitsgrad wurde ausschließlich für

den Siedlungskernraum anhand einer GIS-basierten Rasteranalyse nach THINH (2002) berechnet (Abb. 7).

1790 war der Siedlungskernraum noch fast kreisförmig und hatte nicht die, durch die Topologie des Elbtales hervorgerufene, für ihn später so charakteristische Bandform (Abb. 4). Die räumliche Ausdehnung innerhalb des Siedlungskernraumes war gering, es existierten kaum eingeschlossene Freiflächen. Die Kompaktheit des Siedlungskernraumes war demzufolge groß. Im Zuge der industriellen Entwicklung, dem Bau der Eisenbahntrassen und der damit einhergehenden Entstehung von Industrie- und Wohngebieten, erfolgte eine verstärkte dezentrale Entwicklung des Siedlungskernraumes.

Die starke Zersiedelung des Freiraumes wurde erst während und nach dem Zweiten Weltkrieg aufgrund der schwächeren Wirtschaftsentwicklung gebremst. Eine verstärkte Inanspruchnahme des Freiraumes durch Siedlungsflächen wurde erst in den letzten Jahrzehnten erneut verzeichnet.

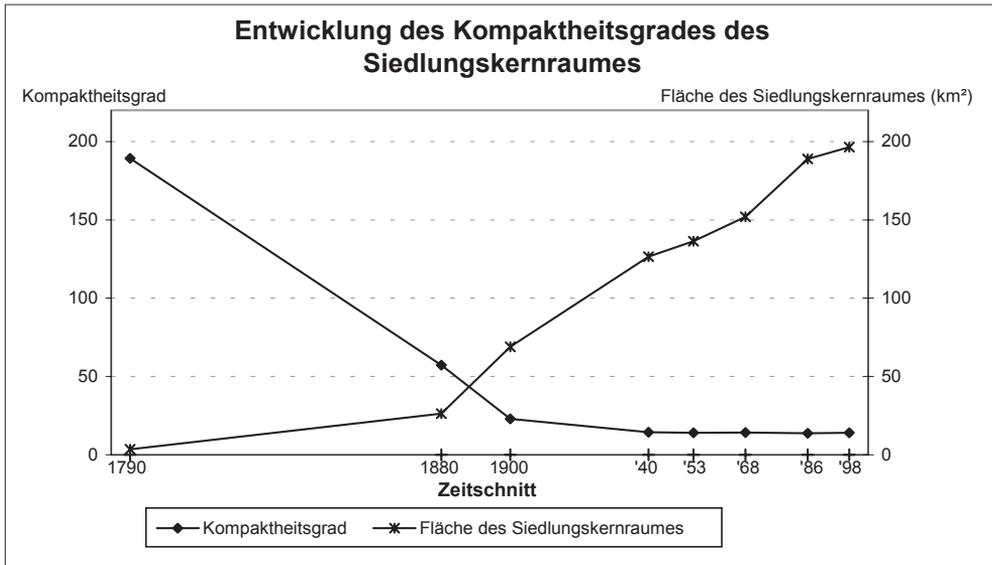


Abb. 7: Entwicklung des Kompaktheitsgrades des Siedlungskernraumes.

### 4.3.2 Lage neuer Siedlungsflächen

Die nun erfolgende Lagetypisierung kennzeichnet neue Siedlungsflächen in Abhängigkeit ihrer Lage zu den Siedlungskernräumen. Sie ist damit ein Indikator für den Erfolg einer Stadtentwicklungspolitik, eine „Stadt der kurzen Wege“ zu schaffen. Dazu wurden alle neuen Siedlungsflächen, die sich innerhalb von zwei aufeinander folgenden Zeitschnitten entwickelten, in drei Lagetypen unterteilt (Abb. 8). Neue Siedlungsflächen,

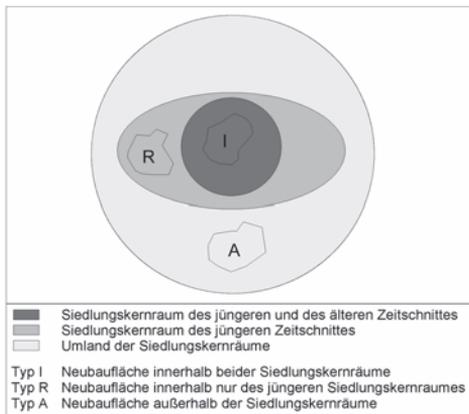
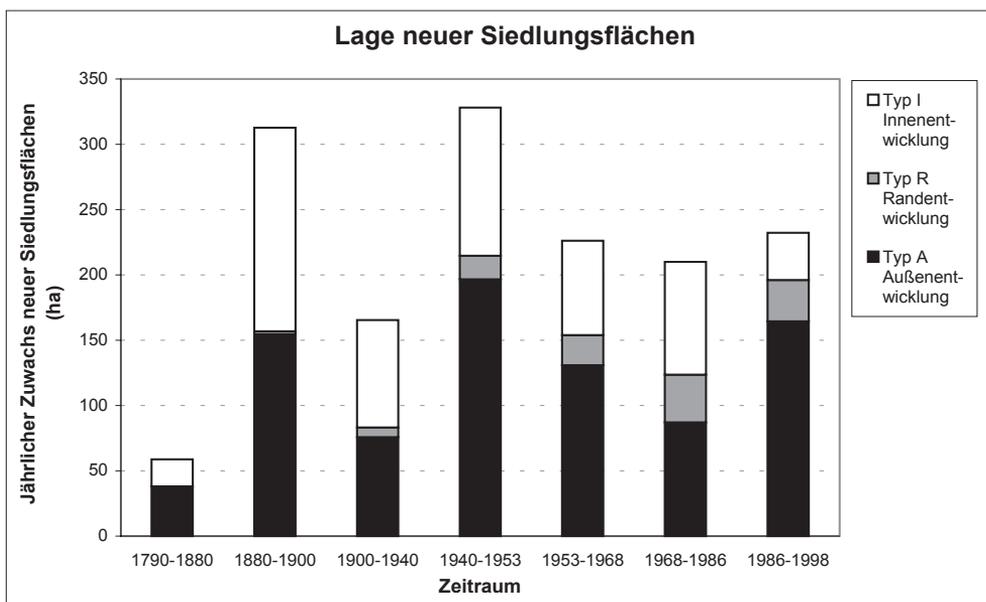


Abb. 8: Lagetypisierung neuer Siedlungsflächen.

chen, die sowohl im alten als auch im neuen Siedlungskernraum enthalten sind, bilden den Typ I (Innenentwicklung). Er spiegelt eine Lücken-schließende Bautätigkeit im Siedlungskernraum wider, die sich damit in gut erschlossenen Lagen vollzieht. Hier erfolgt keine Zersiedelung des Umlandes, so dass dieser Lagetyp I aus ökologischer Sicht positiv bewertet werden kann. Neubaufflächen des Typs R (Randentwicklung) befinden sich innerhalb der Kernwachstumszone, die sich zwischen zwei aufeinander folgenden Zeitschnitten entwickelte. Die Lage dieser Neubaufflächen bedingt eine Inanspruchnahme des Freiraumes, allerdings besteht eine Anbindung der neuen Siedlungsfläche an den gewachsenen Siedlungskernraum. Dieser Lagetyp muss aus ökologischer Sicht kritischer eingeschätzt werden als Typ I. Alle Siedlungsneufächen, die keine Verbindung zu einem der beiden Siedlungskernräume besitzen, bilden Typ A (Außenentwicklung). Neubaufflächen dieses Typs entwickeln sich ohne Anbindung an den Siedlungskernraum, haben wesentlichen Anteil an der Zunahme der Zersiedelung des Freiraumes und bedingen durch ihre größere Entfernung zum Kernraum auch eine verstärkte Verkehrsentwicklung. Typ-A-Siedlungsflächen



**Abb. 9:** Bilanz neuer Siedlungsflächen differenziert nach Lagetypen.

sind deshalb aus ökologischen Gründen am kritischsten zu bewerten.

Der Algorithmus zur Berechnung der Lagetypen wurde in AML (Arc Macro Language) programmiert und in ArcInfo integriert.

Die nach Lagetypen differenzierte Bilanz neuer Siedlungsflächen zeigt, dass zwischen 1790 und 1880 eine verstärkte Außenentwicklung stattfand, die kompakte Stadt bot keinen Raum für Innenentwicklungen (Abb. 9). Bis 1940 hielt sich dann der Anteil von Außen- und Innenentwicklung die Waage. Der Zeitraum von 1900–1986 ist geprägt durch eine Zunahme der Randentwicklung. Zwischen 1968 und 1986 war der Anteil von Innen- und Randentwicklungen von allen Untersuchungszeiträumen am größten, Außenentwicklungen spielen unter anderem aufgrund des geringen Motorisierungsgrades der Bevölkerung eine geringe Rolle. Seit

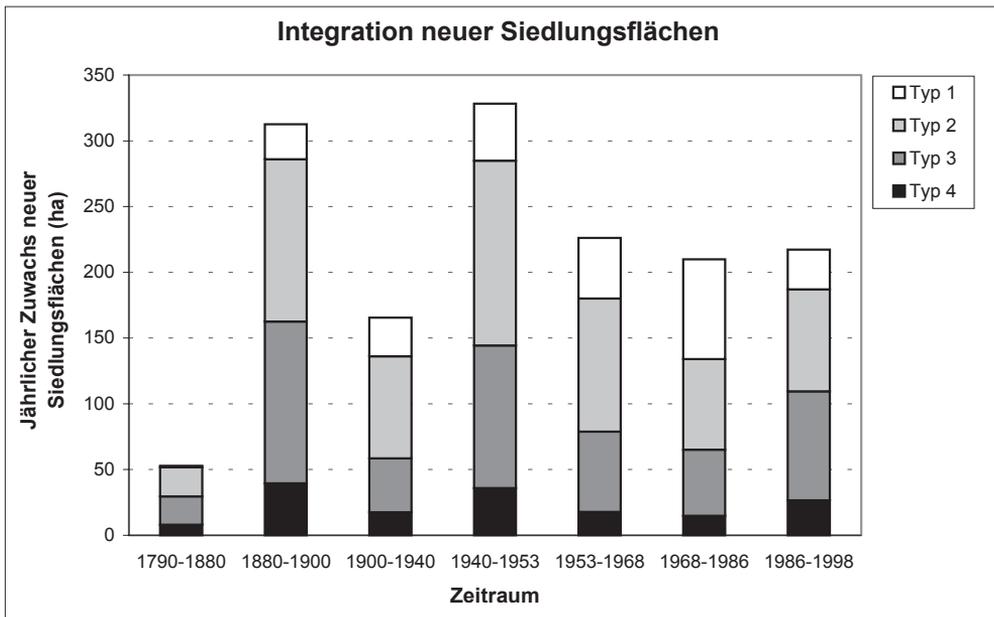
1986 ist sowohl absolut als auch prozentual (69%) eine Dominanz der Außenentwicklung zu beobachten, was aus stadtökologischer Sicht Grund zur Besorgnis gibt (NEUMANN 2002).

#### 4.3.3 Integration neuer Siedlungsflächen

Neben der Bestimmung der Lage neuer Siedlungsflächen zum Siedlungskernraum wurde deren Integration in das bereits bestehende gesamte Siedlungsgefüge (nicht nur in die Siedlungskernräume) ermittelt, denn aus städtebaupolitischen und ökologischen Gründen ist eine starke Integration neuer Siedlungsflächen in den Bestand anzustreben. Als Kriterium für die Integrationstypisierung neuer Siedlungsflächen dient das Verhältnis  $G$  von gemeinsamer Grenzlänge zwischen neuer und bestehender

**Tab. 1:** Integrationstypisierung neuer Siedlungsflächen.

	Typ 1	Typ 2	Typ 3	Typ 4
Grenzlängenverhältnis $G$	$2/3 < G \leq 1$	$1/3 < G \leq 2/3$	$0 < G \leq 1/3$	0



**Abb. 10:** Bilanz neuer Siedlungsflächen differenziert nach Integrationstypen.

Siedlungsfläche und der Gesamtgrenzlänge der neuen Siedlungsfläche (Tab. 1, WINKLER 2001).

Der Integrationsgrad neuer Siedlungsflächen nimmt vom Typ 1, der (fast) vollständigen Integration von Neubaufächen in den Siedlungsbestand bis zu nicht integrierten Flächen vom Typ 4 ab. Abb. 10 zeigt, dass für die sieben untersuchten Zeiträume jeweils der Anteil der Integrationstypen 2 und 3 überwiegt.

Die Gesamtfläche der Typen 1 und 4, d. h. der vollständig und der nicht integrierten Neubaufächen, ist für alle Zeiträume anteilmäßig am geringsten. Während der ersten Entwicklungsetappe zwischen 1790 und 1880 entstanden 44% der Neubaufächen in schlecht oder gar nicht integrierten Lagen. Unter Berücksichtigung des sehr kompakten Siedlungsraumes von 1790 ist diese Entwicklung verständlich. In den nachfolgenden Entwicklungsetappen hat sich der Anteil der besser integrierten Flächen (Typ 1 und 2) vergrößert. Die im Vorfeld entstandenen Lücken innerhalb des Siedlungsraumes wurden langsam geschlossen. Allerdings war die Erweiterung des Siedlungsraumes

bis 1953 so stark, dass auch weiterhin ein disperses Siedlungsflächenwachstum zu verzeichnen war. Dies verdeutlicht der gesunkene Flächenanteil der beiden Integrationstypen 1 und 2. Die Entwicklung des Siedlungsraumes zwischen 1953 und 1986 kann als stark nach innen verdichtend bzw. arrondierend charakterisiert werden, bevor sie in den vergangenen Jahren erneut verstärkt dispers verlaufen ist.

## 5 Siedlungsentwicklung im Zusammenhang mit Bevölkerung und Boden

### 5.1 Entwicklung der Wohndichte

Die Wohndichte gibt die Anzahl der Einwohner auf der gesamtstädtischen Wohngebietsfläche ohne Beachtung der Gebäudeschossigkeit an. Im Unterschied zur Einwohnerdichte (Einwohner/Stadtfläche) spiegelt sie damit in Annäherung den mittleren Wohnflächenbestand wider und somit die Wohnflächennachfrage als Triebkraft der gesamten Siedlungsentwicklung. Entsprechend dem verwendeten Klassifika-

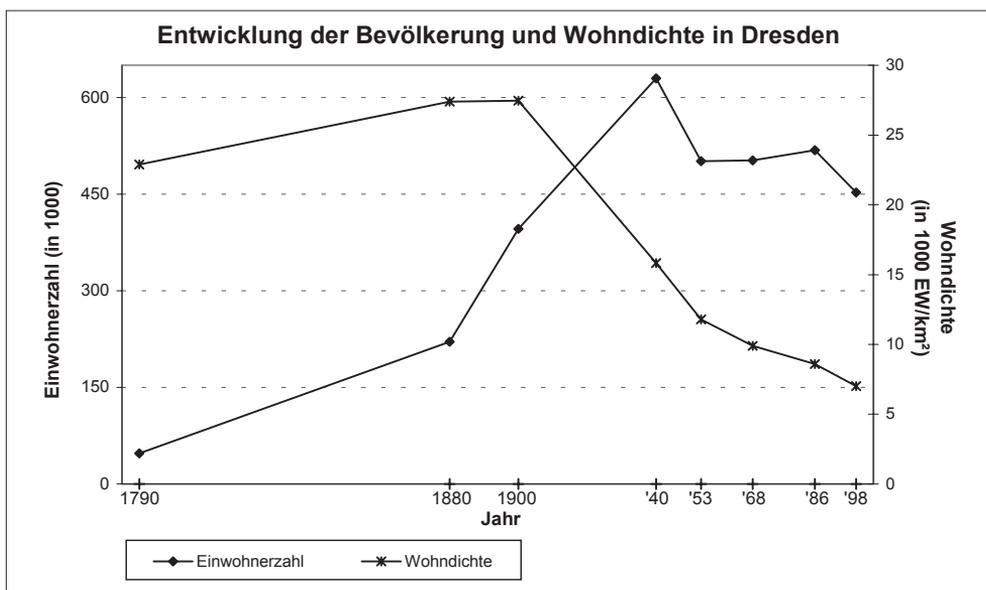


Abb. 11: Entwicklung der Bevölkerung und der Wohndichte in Dresden.

tionsschema sind alle Wohnflächen der Kategorie „städtisch geprägte Flächen“ zugeordnet. Diese Flächen wurden für alle Zeitschnitte mit der jeweiligen Stadtfläche verschnitten, denn nur für diese lagen verlässliche Einwohnerzahlen vor.

Die Wohndichte stieg zwischen 1790 und 1900 (Abb. 11). Zu diesem Zeitpunkt wurde durch die sehr dichte und mehrgeschossige Bauweise der Gründerzeit die höchste Wohndichte erzielt. Seit 1900 nimmt dann die Wohndichte fast linear bis auf einen Wert von 7.000 EW/km<sup>2</sup> im Jahr 1998 ab.

Dieser Rückgang resultiert weitgehend aus einem deutlich wachsenden Bedarf an Wohnfläche pro Einwohner und der steigenden Anzahl von Einpersonenhaushalten. Untersuchungen für die Einwohnerbezogene Industrie- und Gewerbeflächenentwicklung zeigen ein mit der Wohnflächenentwicklung vergleichbares Bild. Diese Zahlen verdeutlichen die Problematik des ständig zunehmenden Siedlungszuwachses trotz schrumpfender Bevölkerungszahlen.

## 5.2 Entwicklung der Bodenversiegelung

Eine Folge der Siedlungsentwicklung ist die Versiegelung von Böden, die viele nachteilige Umweltwirkungen hervorruft (HEBER & LEHMAN 1996). Der Bodenversiegelungsgrad spiegelt das Verhältnis von versiegelter zu unversiegelter Bodenfläche wider. Für die Berechnung der Bodenversiegelung wurde für jede Flächennutzungs-kategorie ein mittlerer Versiegelungsgrad festgelegt (Tab. 2). Anschließend wurden die Klassenbezogenen Flächenbilanzen der Gebietsabgrenzungen für alle acht Untersuchungszeitschnitte mit den Versiegelungsgraden multipliziert und die Positionen addiert. Parallel dazu wurden Bodenversiegelungskarten aller Untersuchungszeitpunkte erstellt.

Die Bodenversiegelung für das gesamte Untersuchungsgebiet hat seit 1790 von 1% auf 11% im Jahr 1998 zugenommen. Die Zunahme erfolgte dabei weitestgehend linear und war bedingt im Wesentlichen durch die Siedlungsentwicklung durch Wohn-, Gewerbe- und Industrieflächen und den stetigen Ausbau der Verkehrsinfrastruktur. Die Gesamtfläche hoch versiegelter Böden

**Tab. 2:** Versiegelungsgrade (VSG) der Flächennutzungsklassen.

VSG (%)	Flächennutzung
0	Freiflächen, Abbauflächen, Deponien
> 0 bis 30	nicht durchgängig städtisch geprägte Flächen (niedrige Versiegelung), städtische Grünflächen
> 30 bis 40	Baustellen
> 40 bis 50	Sport- und Freizeitanlagen, Brachen
> 50 bis 60	Eisenbahnflächen, Häfen, Flughäfen
> 60 bis 70	nicht durchgängig städtisch geprägte Flächen (hohe Versiegelung), Dienstleistungseinrichtungen
> 70 bis 80	Industriegebiete, Gewerbeflächen
> 80 bis 90	durchgängig städtisch geprägte Flächen, Autobahnen
> 90 bis 100	sonstige Straßen

(VSG > 80%) war allerdings 1940 vor der Zerstörung von Dresden am größten.

### 5.3 Verlust ertragreicher Acker- und Grünlandflächen

Bodenversiegelung entzieht den Boden einer landwirtschaftlichen Nutzung. Dieser Entzug ist dann besonders bedenklich, wenn es sich um hochwertige Böden handelte, die eigentlich der landwirtschaftlichen Nutzung vorbehalten bleiben sollten. Dazu wurden Daten der Bodenschätzung bezüglich des biotischen Ertragspotenzials für die Stadtfläche Dresden mit dem Erhebungsstand 1934 GIS-technisch aufbereitet (Quelle:

Reichsbodenschätzung; Aufarbeitung durch Landeshauptstadt Dresden, Grünflächenamt 1994). Die Acker- und Grünlandflächen wurden in vier Wertstufen eingeteilt und mit den Flächennutzungsdatensätzen der Jahre 1953 bis 1998 verschnitten (Tab. 3).

Auffällig ist, dass auf den Bodenwert zu keinem Zeitpunkt der Siedlungsentwicklung Rücksicht genommen wurde. Zwar wurden bis 1968 vorrangig Böden mit niedriger Bodenwertzahl überbaut, ab 1986 erfolgte aber eine verstärkte Umnutzung von Böden mit hohem bis sehr hohem biotischen Ertragspotenzial für Siedlungszwecke. Drastisch ist vor allem die Inanspruchnahme von Böden

**Tab. 3:** Bodenverlust durch Siedlungstätigkeit in Abhängigkeit vom biotischen Ertragspotenzial für die Stadtfläche Dresden (1996).

Wertstufe	Bodenwertzahl	Biotisches Ertragspotenzial	Fläche insgesamt (ha)	Bodeninanspruchnahme durch Siedlungstätigkeit							
				1934–53		1934–68		1934–86		1934–98	
				ha	%*	ha	%*	ha	%*	ha	%*
IV	10–29	gering	420	129	31	172	41	202	48	231	55
III	30–59	mittel	2009	400	20	575	29	795	40	915	46
II	60–69	hoch	813	155	19	223	27	385	47	424	52
I	70–97	sehr hoch	1899	381	20	499	26	992	52	1085	57

\*) Flächenanteil an dem jeweiligen Bodenwert

mit sehr hohem biotischen Ertragspotenzial, sie hat sich zwischen 1953 und 1998 von 20% auf 57% fast verdreifacht. Da die Bodenwertdaten nur für die administrative Stadtfläche zur Verfügung standen, können keine Aussagen zum Verlust sehr hochwertiger Böden durch die wachsende Suburbanisierung gemacht werden.

## 6 Schlussfolgerung

Der GIS-Einsatz im Zusammenhang mit erhobenen Flächennutzungsdaten aus Fernerkundungsdaten und historischen Kartenwerken ermöglicht komplexe Analysen sowohl quantitativer als auch qualitativer Flächennutzungsentwicklungen im Langzeitmonitoring. Die Ergebnisse zeigen, dass die Siedlungsfläche für alle betrachteten Untersuchungseinheiten seit 1790 stetig zugenommen hat. Dabei konnte auch eine starke positive Korrelation zwischen Siedlungsflächen- und Bevölkerungsentwicklung bis 1940 nachgewiesen werden. Seit diesem Zeitpunkt wächst die Siedlungsfläche trotz schrumpfender Bevölkerungszahlen besorgniserregend. Letztlich ist dieses ein Indiz dafür, wie wichtig eine gezielte, vehemente, politische Gegensteuerung beim Flächenverbrauch ist. Negative Umweltwirkungen sind unter anderem die ständig zunehmende Bodenversiegelung und der Verbrauch ertragreicher Böden. Diese Entwicklung kann in keiner Weise als nachhaltig betrachtet werden, beschneidet sie doch die natürlichen Lebensgrundlagen nachfolgender Generationen.

Derartige Langzeituntersuchungen zur Flächennutzungsentwicklung bedingen Informationen und Erkenntnisse, die Grundlage für politische Leitlinien der Siedlungsentwicklung und damit eine wichtige Voraussetzung für eine zukünftige, nachhaltig gestaltete Siedlungsentwicklung sein könnten.

## Danksagung

Wir bedanken uns herzlich bei Herrn Dr. N. THINH (IÖR) für die Berechnung der Kompaktheit der Siedlungskernräume und

bei Herrn Dipl.-Vw. J. HENNERSDORF (IÖR), der die Analyse des Verbrauchs ertragreicher Böden übernahm.

## Literatur

- Deutscher Umweltindex dux, 2003: [www.umweltbundesamt.de/dux](http://www.umweltbundesamt.de/dux)
- DOSCH, F., 2002: Auf dem Weg zu einer nachhaltigen Flächennutzung. – Informationen zur Raumentwicklung, **2002** (1): 31–45.
- European Environment Agency 2002: Towards an urban atlas. Assessment of spatial data on 25 European cities and urban areas. – Environmental issue report, No. 30 – European Environment Agency, Copenhagen.
- European Environment Agency 1997: CORINE Land Cover, Technical Guide. – Copenhagen.
- HEBER, B. & LEHMANN, I., 1996: Beschreibung und Bewertung der Bodenversiegelung in Städten. – IÖR-Schriften, Band 15, Dresden.
- Landeshauptstadt Dresden, Grünflächenamt (Hrsg.), 1994: Landschaftsplanentwurf. – Dresden.
- MEINEL, G., 2001: Langzeituntersuchung kumulativer Umweltwirkungen durch Flächennutzungsänderungen am Beispiel der Suburbanisierung stadtnaher ländlicher Regionen und neuer Verkehrskorridore. – IÖR-Forschungsprojek Dresden. (unveröff.)
- MEINEL, G., COLDITZ, U., GÖSSEL, J., HEBER, B., HENNERSDORF, J., SCHUMACHER, U. & SIEDENTOP, S., 1999: Monitoring Urban Dynamics (Murbandy) – Change Dresden. Die Entwicklung der Flächennutzung und der Transportinfrastruktur seit den 50er Jahren in Dresden und Umland. – Abschlussbericht des EU-Projektes ‚Monitoring Urban Dynamics (Murbandy) – Change Dresden.‘, Dresden. (unveröff.)
- NEUMANN, K., 2002: GIS-basierte Aufnahme und Analyse der Flächennutzungsentwicklung der Stadtregion Dresden von 1880 bis 1998. – Diplomarbeit, TU Dresden. (unveröff.)
- SIEDENTOP, S., 1999: Kumulative Landschaftsbelastung durch Verstädterung – Methodik und Ergebnisse einer vergleichenden Bestandsaufnahme in sechs deutschen Großstädten. – Natur und Landschaft, **1999** (76): 146–155.
- Space Applications Institute, 1998: Invitation to Tender. Murbandy-Change: Development of land use data bases for selected European cities/regions. – Ausschreibungsunterlagen für den Projektteil Murbandy-Change, Ispra.
- THINH, N.X., 2002: Entwicklung von AML-Programmen zur räumlichen Analyse der Flächen-

- nutzungsmuster von 116 kreisfreien Städten in Deutschland. – Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation, **2002** (6): 409–422.
- WALZ, U. & BERGER, A., 2003: Georeferenzierung und Mosaikerstellung historischer Kartenwerke – Grundlage für digitale Zeitreihen zur Landschaftsanalyse. – Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation, **2003** (3): 213–219
- WINKLER, M., 2001: GIS-basierte Flächenentwicklungsanalyse von fünf europäischen Großstädten (Bilbao, Bratislava, Dresden, Lyon, Palermo) und deren Visualisierung auf der Basis digitaler Datenbestände. – Diplomarbeit, TU Dresden. (unveröff.)
- WITSCHAS, S., 2002: Erinnerung an die Zukunft – sächsische historische Kartenwerke zeigen den Landschaftswandel. – Kartographische Nachrichten 3/2002: 111–117, Bonn-Bad Godesberg.
- Anschrift der Verfasser:
- Dr.-Ing. GOTTHARD MEINEL  
Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR)  
e. V., Dresden  
Weberplatz 1  
D-01217 Dresden  
e-mail: G.Meinel@ioer.de
- Dipl.-Geogr. KATHLEEN NEUMANN  
Institut für ökologische Raumentwicklung (IÖR)  
e. V., Dresden  
Weberplatz 1  
D-01217 Dresden  
e-mail: kath.neumann@web.de
- Manuskript eingereicht: Juni 2003  
Angenommen: Juli 2003

## CCD oder CMOS – ein Praxisbericht

JÜRGEN PEIPE, Neubiberg & CARL-THOMAS SCHNEIDER, Braunschweig

**Keywords:** CCD sensor, CMOS sensor, photogrammetric performance evaluation, test measurement

**Zusammenfassung:** Es werden die Ergebnisse eines Tests mitgeteilt, bei dem die photogrammetrische Leistungsfähigkeit von sechs CCD bzw. CMOS Kameras an Hand der Messung eines 3D-Prüfkörpers ermittelt wurde. Zudem wird auf die besonderen Eigenschaften von CMOS Sensoren eingegangen.

**Summary:** *CCD or CMOS – a field test.* The photogrammetric performance of six types of CCD and CMOS cameras was evaluated by 3-D test-field measurements. In addition, some specifications of CMOS sensors are reported on.

### 1 Einleitung

Digitalkameras sind wesentlicher Bestandteil photogrammetrischer Nahbereichs-Messsysteme. Kameras mit fester Verbindung zu einem Rechner erlauben die Aufnahme rascher Bildfolgen und sind für online bzw. realtime Anwendungen geeignet. Kameras ohne Verbindung zu einem Rechner, aber mit interner Energieversorgung, Steuerelektronik und Datenspeicherung (Still Video Kameras), haben sich seit vielen Jahren in der Offline Photogrammetrie bewährt. Die in den Kameras eingebauten Flächensensoren weisen typische Pixelzahlen von  $\leq 1000 \times 1000$  bis ca.  $4000 \times 4000$  auf, je nach Aufgabengebiet und technischer Spezifikation. So steht zum Beispiel die Bildfolgezeit in Konkurrenz zur Sensorgröße: Hochgeschwindigkeitskameras erfassen mehrere Hundert Bilder pro Sekunde mit einer Auflösung von  $1000 \times 1000$  Bildelementen, eine Kamera mit hoher Pixelzahl kann dagegen ein paar Sekunden für Aufnahme und Speicherung eines Bildes benötigen.

Die Sensorarchitektur moderner Digitalkameras beruhte bis vor kurzem im Wesentlichen auf der CCD-Technologie (CCD =

Charge Coupled Device), die sich über die Jahre hin bewährt und durchgesetzt hat. Seit einiger Zeit kommen jedoch rasch zunehmend CMOS-Sensoren (CMOS = Complementary Metal-Oxide Semiconductor) und mit ihnen ausgerüstete Kameras auf den Markt – ausgehend wohl von Anwendungen der Bildverarbeitung und optischen Produktkontrolle in der Industrie, bei denen sich die vorteilhaften Aspekte der CMOS-Technologie besonders deutlich zeigen. Bei den Still Video Kameras – vom „Massenmarkt“ der Consumer Kameras bis zu den „High End“ Kameras des Profi-Photographen – war von dieser Entwicklung lange Zeit wenig zu spüren. Es gab einige niedrig auflösende Kameras mit zweifelhafter Bildqualität (z. B. YAMADA et al. 1998); dann jedoch wurde im Jahr 2000 plötzlich eine ausgereifte Spiegelreflexkamera mit einem 3.1 Mio. CMOS Sensor präsentiert, die Canon EOS D30. Das bis zu diesem Zeitpunkt als Hauptnachteil der CMOS-Technologie angeführte starke Bildrauschen (siehe Kap. 2) konnte bei dieser Kamera minimiert werden. Ebenfalls im Jahr 2000 wurde auf der Photokina der Prototyp eines 16 Megapixel CMOS Sensors der Fa. Foveon vorgestellt – zeitlich parallel und in der Pixelzahl eben-

bürtig dem 16 Megapixel CCD Sensor im digitalen Rückteil Kodak DCS Pro Back. Die weitere Entwicklung hochauflösender und damit für die photogrammetrische Anwendung besonders interessanter Sensoren und Kameras kulminierte anlässlich der Photokina 2002, als drei neue Spiegelreflexkameras Tagesgespräch waren, alle drei mit einem CMOS Sensor ausgerüstet: die Canon EOS 1Ds mit einem 11 Mio. Pixel Chip ( $4064 \times 2704$  Bildelemente) und die Kodak DCS Pro 14n mit knapp 14 Mio. ( $4536 \times 3024$ ), beides so genannte Vollformatsensoren, die also das Kleinbildformat von  $24 \text{ mm} \times 36 \text{ mm}$  ausfüllen – und als dritte Kamera die Sigma SD-9 mit dem neuartigen Foveon X3-Bildsensor. Dieser 3.4 Mio. Pixel CMOS Sensor ist schichtförmig so aufgebaut, dass jeder Bildpunkt die Farbinformation für Rot, Grün und Blau liefert – im Gegensatz zur üblichen Vorgehensweise, bei der ein Pixel durch ein Farbfilter-Mosaik hindurch nur eine Grundfarbe erfasst und die Gesamtinformation durch Farbinterpolation erhalten wird.

Es ist also an der Zeit zu untersuchen, was den photogrammetrischen Anwender erwartet, wenn er eine der neuen CMOS Kameras in seinem 3D-Messsystem verwenden will – dies im Vergleich zu bisher üblichen CCD Kameras. Im Folgenden werden daher sechs Spiegelreflexkameras mit Auflösungen von 6 bis 14 Mio. Bildpunkten miteinander verglichen. Der Vergleich bezieht sich auf die Ergebnisse von Bündelausgleichungen eines Testkörpers, unter gleichen Bedingungen für alle Kameras. Es wurden mehrere Datensätze pro Kamera erzeugt und als Bewertungskriterium die Längenmessabweichung an kalibrierten Maßstäben verwendet.

## 2 CCD und CMOS

CCD und CMOS Sensoren sind Festkörper-Bildsensoren (solid-state sensors), bestehend aus Halbleiter-Bauelementen, die in der Lage sind, auftreffendes Licht in ein entsprechendes Muster elektrischer Ladungen umzuwandeln. Einzelne lichtempfindliche Elemente (in der Regel Photodioden) wer-

den zu Zeilen- bzw. Flächensensoren zusammengesetzt. Der Ladungsinhalt der Photodioden muss nach erfolgter Belichtung abtransportiert und weiterverarbeitet, d. h. in digitale Bildinformation umgesetzt werden. Hierbei unterscheiden sich CCD und CMOS Sensoren erheblich voneinander und begründen damit auch Stärken und Schwächen der jeweiligen Technik.

Ohne auf Details einzugehen (siehe hierfür z. B. BLANC 2001), wird bei CCD Sensoren die Ladung der Einzelemente während der Belichtungszeit – bei geöffnetem elektronischen Shutter – gesammelt (Integrationsphase). Anschließend erfolgt das Auslesen nach dem Prinzip der zeilen- bzw. spaltenweisen Ladungsverschiebung, d. h. die Ladungen werden getaktet nacheinander in Ausleseregister verschoben, so dass letztlich ein kontinuierliches analoges Signal entsteht, das noch verstärkt und in einem Analog-/Digital-Wandler digitalisiert wird. Nachteilig ist, dass beim Ladungstransport über lichtempfindliche Sensorflächen hinweg Verschmierungen auftreten können. Ein weiteres Problem von CCD Sensoren sind Überstrahlungseffekte (Blooming), die entstehen, wenn Ladungen bei zu hoher Lichtintensität während der Integrationsphase in benachbarte Pixel überfließen und so die Information in einem Teilbereich des Bildes verfälscht bzw. unlesbar wird. Insgesamt gesehen erzeugen CCD Sensoren jedoch sehr gute, rauscharme Bilder.

CMOS Bildelemente lassen sich im Gegensatz zu CCD Bildelementen einzeln adressieren und auslesen, indem das gewünschte Element über die Zeilen- und Spaltennummer ausgewählt wird. Dies ist zum einen für die Korrektur fehlerhafter Pixel von Vorteil, zum anderen aber auch, wenn nur Teilbereiche des Bildes (areas of interest), diese aber oft und sehr rasch erfasst werden sollen. Schmier- und Überstrahlungseffekte treten nicht auf, da Ladungen nicht verschoben werden und Ladungsüberlauf vermeidbar ist. CMOS Sensoren werden daher zunehmend für industrielle Anwendungen unter schwierigen Beleuchtungsbedingungen oder z. B. für Überwachungsaufgaben in der Sicherheitstech-

nik eingesetzt. Ein weiterer wesentlicher Vorteil der CMOS Sensorarchitektur liegt darin, dass in jedem Pixel die Photodiode mit Schaltungen zur Ansteuerung, Signal-auslesung und Signalverarbeitung integriert werden kann (letztlich: camera on the chip). Dies führt wiederum zu raschen Auslesezeiten und auch zu niedrigen Betriebstemperaturen und niedrigem Energieverbrauch (1/3 bis 1/10 der Energie eines entsprechenden CCD Modells).

Als wesentlicher Nachteil von CMOS Sensoren wird das gegenüber CCD Sensoren stärkere Rauschen angesehen. Hier ist in den letzten Jahren viel Forschungsarbeit geleistet worden, so dass sowohl das zeitliche Rauschen als auch die stabile Bildstörung (fixed pattern noise) durch saubere Signalverarbeitung unter Kontrolle gebracht werden können. So liegen viele Vorteile auf Seiten der CMOS Sensoren – als letztes seien die günstigen Herstellungskosten vor allem auch von Chips mit großen Pixelzahlen genannt, da sie auf Standard-Halbleiter-Fertigungsstraßen produziert werden können und nicht in komplexen, hoch spezialisierten Anlagen wie die CCD Sensoren.

Was bringt die Zukunft? Die in der Fachliteratur dargestellte Aufregung über den „Kampf der Systeme“ hat sich inzwischen gelegt: Statt „A Challenge for CCDs“ (CONNOLLY 2001) und „CMOS vs. CCD: The Battle Continues“ (WILLIAMS 2001) heißt es nun „CCD vs. CMOS: The Battle Cools Off“ (LITWILLER 2002). Es ist also damit zu rechnen, dass die beiden Technologien zu-

nächst nebeneinander existieren werden, mit größeren Zuwachsraten auf Seiten der CMOS Sensoren.

### 3 Kameratest

Sechs digitale Spiegelreflexkameras standen für die Untersuchungen zur Verfügung, vier davon ausgerüstet mit CCD Sensoren und zwei CMOS Modelle (Tab.1 zeigt einige technische Daten). Die Auflösung betrug 6 Megapixel, mit Ausnahme der neuen Kodak DCS Pro 14n, die knapp 14 Mio. Bildelemente aufweist. Die Kodak DCS 660 ist als Standardkamera in photogrammetrischen 3D-Messsystemen seit langem bewährt. Ihre Vorgängerin war die DCS 460 – im vorliegenden Test wird eine Kamera aus dem Jahr 1995 eingesetzt. Die Fuji FinePix S2 Pro und die Nikon D1X ergänzen das Feld der Kameras mit CCD-Technologie.

Ein paar Worte noch zu den beiden CMOS Kameras: Die Canon EOS D60 ist Nachfolger der in Kap.1 genannten D30 und bietet sich – zusammen mit der Fuji FinePix S2 Pro – als preiswerte, semiprofessionelle Alternative zu den anderen Kameras an. Als Folge der rasanten Entwicklung auf dem Fotomarkt wurde die D60 inzwischen – nach nur einem Jahr auf dem Markt – vom Modell Canon EOS 10D ersetzt. Bei gleichem Sensor dürften allerdings die Abbildungseigenschaften der beiden Kameras ähnlich sein. Die Kodak DCS Pro 14n setzt neue Maßstäbe hinsichtlich Auflösung und Sensorformat. Der 13.9 Megapixel CMOS

**Tab. 1:** Technische Daten der untersuchten Kameras.

Kamera	Chip-technologie	Sensorformat [mm]	Sensorformat [Pixel]	Verwendetes Objektiv
Kodak DCS Pro 14n	CMOS	36 × 24	4536 × 3024	35 mm
Kodak DCS 660	CCD	27,4 × 18,1	3040 × 2008	24 mm
Nikon D1X	CCD	23,7 × 15,6	3008 × 1960	20 mm
Canon EOS D60	CMOS	22,1 × 14,9	3072 × 2048	24 mm
Fuji FinePix S2 Pro	CCD	23,3 × 15,6	3024 × 2016	24 mm
Kodak DCS 460	CCD	27,6 × 18,4	3072 × 2048	24 mm

Sensor im vollen Kleinbildformat erlaubt die Verwendung aller Nikon-Kleinbildobjektive, ohne einen „Verlängerungsfaktor“ berücksichtigen zu müssen.

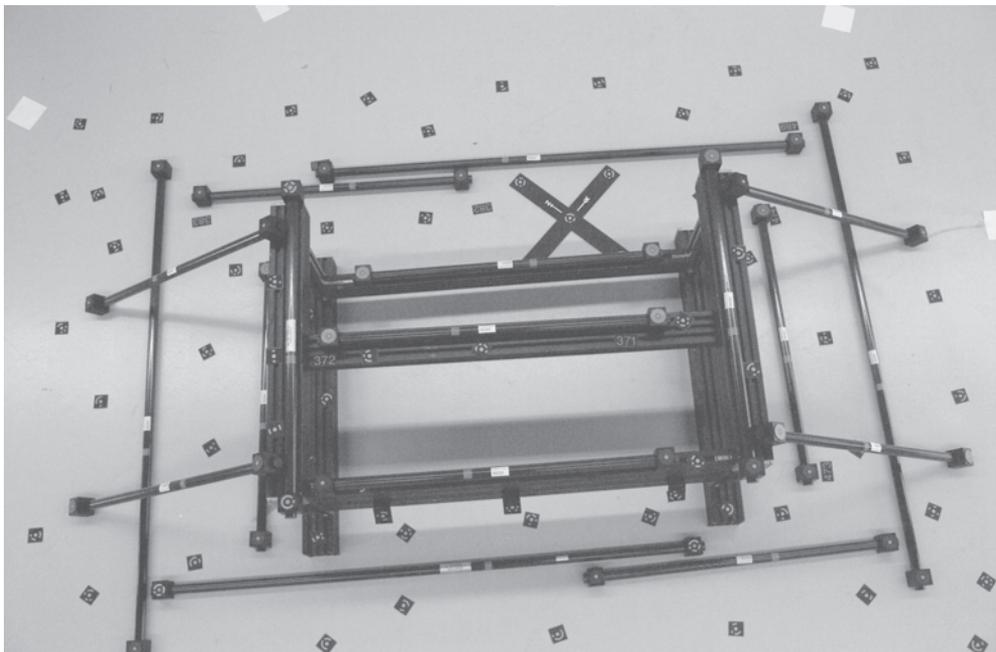
#### 4 Photogrammetrische Messungen

Seit einiger Zeit steht für die Abnahme und Überprüfung von optischen 3D-Messsystemen die VDI/VDE Richtlinie 2634 (VDI/VDE 2002) zur Verfügung. Im Blatt 1 dieser Richtlinie wird ein Verfahren zur Überprüfung von optischen Messsystemen mit punktförmiger Antastung beschrieben. Dabei wird die dreidimensionale Längenmessabweichung als Differenz zwischen gemessenem und kalibriertem Abstand zweier Punkte bestimmt. Zur Ermittlung der Längenmessabweichung wird ein Prüfkörper vorgesehen, der ein fest definiertes Messvolumen besitzt. In diesem Messvolumen werden sieben Messlinien in allen Koordinatenrichtungen durch kalibrierte Maßstäbe realisiert.

In Anlehnung an diese Vorgehensweise wurde zur Untersuchung der Kameras ein

Prüfkörper aus insgesamt 17 CFK-Maßstäben in einem Messvolumen von ca. 2.000 mm × 1.500 mm × 500 mm aufgebaut (Abb. 1). Die 17 Maßstäbe mit jeweils zwei Messpunkten wurden vom Deutschen Kalibrier-Dienst (DKD) kalibriert und sind mit einer Genauigkeit von  $\pm 10 \mu\text{m}$  zertifiziert. Der Prüfkörper wurde mit jeder Kamera in gleicher Weise aufgenommen. Abb. 2 zeigt einen Grundrissplan der Kamerastandorte. Von jedem Standort wurde der Prüfkörper in vier verschiedenen Höhen aufgenommen (1.000 mm, 1.500 mm, 2.000 mm, 2.500 mm). Zusätzlich wurden vier gekantete Bilder zur Verbesserung der Bestimmung der inneren Orientierung aufgenommen, die im Rahmen einer Simultankalibrierung erfolgte.

Die Digitalaufnahmen wurden mit der AICON Photogrammetriestation DPA-Pro ausgemessen, und es wurden im Rahmen der Bündelausgleichung in üblicher Weise 3D Objektkoordinaten berechnet. Aus den ausgeglichenen Punktkoordinaten ergaben sich anschließend die Ist-Strecken der Maßstäbe. Tab. 2 zeigt die Ergebnisse der Berechnung



**Abb. 1:** Prüfkörper, bestehend aus 17 Maßstäben und Verknüpfungspunkten.

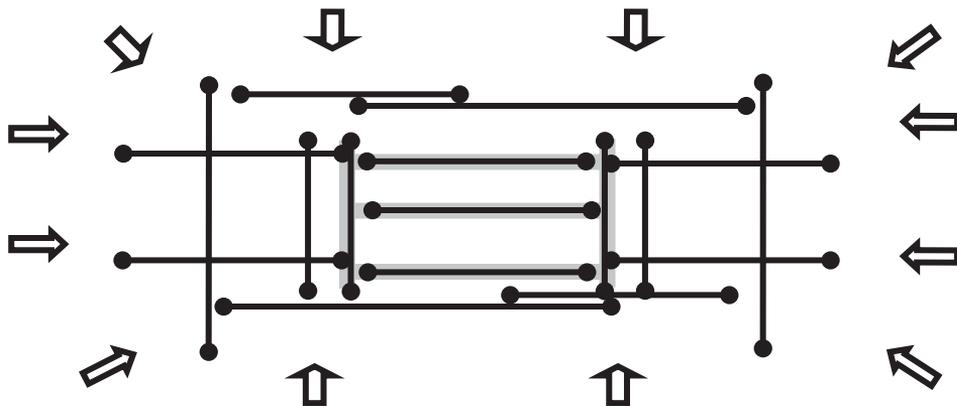


Abb. 2: Schematische Darstellung der Aufnahmestandpunkte.

und den Vergleich mit den Soll-Daten aus der DKD Kalibrierung.

Nimmt man die Spanne als charakterisierenden Genauigkeitswert, so zeigt sich – wie zu erwarten war – die Kamera mit der größten Pixelzahl, also die Kodak DCS Pro 14n, als überlegen, allerdings mit nicht allzu großem Abstand zum über Jahre bewährten Produkt DCS 660, die trotz ihrer „nur“ 6 Megapixel hervorragend abschneidet. Umgekehrt betrachtet bedeutet dies, dass eine mit der Pixelzahl linear steigende Genauigkeit nicht vorausgesetzt werden kann – bzw., dass beim CMOS Sensor noch Genauigkeitsreserven vorhanden sind, sei es durch eine verbesserte Sensorarchitektur oder durch noch leistungsfähigere Software. Ein

Grund für die relativ geringe Genauigkeitssteigerung kann auch darin liegen, dass wegen der Vollformatsensoren nun die Randbereiche der Kleinbildobjektive ebenfalls zur Abbildung herangezogen werden, was bisher nicht geschah. Objektivfehler würden sich stärker auswirken, und es ist die Frage, ob die Modellierung der Bildraumparameter in der Simultankalibrierung für diesen Fall genügt.

Sehr nah zur DCS 660 liegen die Ergebnisse der Nikon D1X, ebenfalls ein bewährtes Produkt in photogrammetrischen 3D-Messsystemen. Die preiswerteren 6 Megapixel Kameras folgen mit etwas Abstand – allerdings untereinander gleichauf, was für die Qualität des CMOS Sensors der Canon EOS D60 spricht. Sieht man allerdings die Differenz zwischen den 74 µm der DCS Pro 14n und den 120 µm der FinePix S2 Pro, so zeigt sich hier ein deutlicher Genauigkeitsabstand, dies bei etwa einem Drittel der Anschaffungskosten für die „einfacheren“ Kameras gegenüber der hochauflösenden. Aufgabenstellung und vorhandene Finanzmittel sind ausschlaggebend, für welche Kamera und welche Genauigkeit man sich entscheidet.

Letztlich ist das mit der DCS 460 erzielte Ergebnis zu kommentieren. Wie in Kap. 3 erwähnt, handelt es sich bei dieser Kamera um ein bereits acht Jahre altes und permanent eingesetztes Modell mit dem damaligen, instabileren Gehäuse und dem „alten“,

Tab. 2: Ergebnis der Testmessungen.

Kamera	Größte untere Abweichung [µm]	Größte obere Abweichung [µm]	Spanne [µm]
Kodak DCS Pro 14n	- 33	41	74
Kodak DCS 660	- 58	41	99
Nikon D1X	- 55	47	102
Canon EOS D60	- 44	72	116
Fuji FinePix S2 Pro	- 62	58	120
Kodak DCS 460	- 42	145	187

noch nicht befestigten Sensor, so dass das Ergebnis nicht verwundern darf. Es ist eher als Hinweis darauf zu werten, dass die später entwickelten Kameras – gerade das Nachfolgemodell DCS 660 – um vieles leistungsfähiger geworden sind.

## 5 Zusammenfassung und Ausblick

Durch mehrfachen Test einer Reihe digitaler CCD und CMOS Kameras konnte gezeigt werden, dass Kameras mit CMOS Sensoren den bisher üblichen CCD Kameras durchaus gleichwertig sind, was die Genauigkeit der photogrammetrischen 3D-Objektrekonstruktion betrifft – wenn sich auch der „Quantensprung“ bei der Pixelzahl von 6 zu 14 Megapixeln nicht gleichermaßen in den Ergebnissen spiegelt. Es ist zu erwarten, dass sich die Qualität der CMOS Bilder durch neue Sensoren und Softwareentwicklungen weiter verbessern wird.

Abschließend sei betont, dass sich die Autoren dieses Berichts darüber im Klaren sind, dass ihre Untersuchungsergebnisse nur einen Zwischenstand darstellen können. Ständig werden neue Kameras angeboten; was heute noch „High-End-Profi“ heißt, ist vielleicht morgen schon in einer preiswerten Consumer Kamera eingebaut. In jedem Fall dokumentiert die vorliegende Untersuchung den hohen Stand der Entwicklung digitaler Aufnahmesysteme und ihre Eignung für Anwendungen in der Nahbereichsphotogrammetrie.

## Literatur

- BLANC, N., 2001: CCD versus CMOS – has CCD imaging come to an end? – In: FRITSCH, D. & SPILLER, R.(ed.): Photogrammetric Week '01. – pp.131–137, Wichmann Verlag, Heidelberg.
- CONNOLLY, CH., 2001: A challenge for CCDs. – *Photonics Spectra* (11): 106–107.
- LITWILLER, D., 2002: CCD vs. CMOS: The battle cools off. – *Photonics Spectra* (1): 102–103.
- VDI/VDE, 2002: VDI/VDE-Richtlinie 2634 Optische 3D-Messsysteme. – Beuth Verlag, Berlin.
- WILLIAMS, C., 2001: CMOS vs. CCD: The battle continues. – *Advanced Imaging* (9): 28–31.
- YAMADA, N., CHIKATSU, H., ANAI, T., 1998: On the application of CMOS image sensor to digital photogrammetry. – *Int. Arch. Photogrammetry & Rem. Sensing*, **32/5**: 185–188, Hakodate.

Anschrift der Autoren:

Dipl.-Ing. JÜRGEN PEIPE  
 Universität der Bundeswehr München  
 D-85577 Neubiberg  
 e-mail: juergen.peipe@gmx.de

Dr. CARL-THOMAS SCHNEIDER  
 AICON 3D Systems GmbH  
 D-38114 Braunschweig  
 e-mail: ct.schneider@aicon.de

Manuskript eingereicht: Juli 2003

Angenommen: Juli 2003

## Berichte

### **Internationaler Workshop „Visualization and Animation of Reality-based 3D Models“**

vom 24. bis 28. Februar 2003  
in Tarasp-Vulpera, Engadin, Schweiz

Dieser wissenschaftliche Workshop wurde von der Arbeitsgruppe 6 der Kommission V der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung (ISPRS) organisiert. Zum Thema *Visualisierung und Animation von realitätsbasierten 3D-Modellen* wurden in 35 Vorträgen diverse Projekte vorgestellt, die danach von den 60 Teilnehmern aus 11 Nationen angeregt diskutiert wurden.

Die gezeigten Projekte waren in mancherlei Hinsicht sehr verschieden, was zu einem außerordentlich interessanten und abwechslungsreichen Programm führte. Einige der rekonstruierten und visualisierten Objekte hatten Ausmaße von mehreren Kilometern (archäologische Stätten, Stadt- und Landschaftsmodelle, Mount Everest), andere Bilddaten wiederum wurden zum Beispiel mit einem Mikroskop aufgenommen (Rekonstruktion von abrasiven Materialien). Mehrfach angesprochen wurde die Tatsache, dass im Hinblick auf wirkliche *Virtual Reality* vor allem die Frage der Darstellung großer Datensätze und die Animation von Teilen des virtuellen Modells (Menschen, Fahrzeuge etc.) gelöst werden müssen, wobei zu ersterem Problem bereits kommerzielle Lösungen gezeigt wurden. Generell musste aber im Verlauf des Workshop ein Fehlen neuartiger Ansätze und Algorithmen festgestellt werden.

Speziell erwähnt sein soll hier der Keynote Vortrag von Prof. D. THALMANN (VRLAB, EPF Lausanne), der die Zuhörer in die Thematik von Visualisierung und Animation einführte. Einige der Teilnehmer warteten mit eindrucksvollen Programmdemonstrationen auf (vor allem Visualisierung, aber auch Rekonstruktion), welche zu regen Dis-

kussionen zwischen Akademikern und Firmenvertretern sowie zwischen den Vertretern der Photogrammetrie und der Computer Vision führten.

In unvergesslicher Erinnerung bleiben sicherlich auch die Social Events wie Schlittenfahren, Eisstockschießen, Fondueplausch oder Schlossbesichtigung, die den Workshop abrundeten und die Möglichkeit zur Pflege von Kontakten boten.

Weitere Informationen zum Workshop sowie sämtliche Publikationen befinden sich auf der Webpage der Gruppe für Photogrammetrie und Fernerkundung der ETH Zürich unter [http://www.photogrammetry.ethz.ch/tarasp\\_workshop](http://www.photogrammetry.ethz.ch/tarasp_workshop).

MARKUS NIEDERÖST, Zürich

### **51. Deutscher Kartographentag**

vom 27. bis 31. Mai 2003

Unter dem Leitthema „Kartographie im Dreiländereck“ fand der diesjährige 51. Kartographentag in Bad Krozingen statt. Der Einladung in das Badische waren über 300 Teilnehmer gefolgt und sie konnten unter den beiden Themenschwerpunkten *Tourismus und Karte* und *Stand der Kartographie in den Geowissenschaften* zwischen einer breiten Palette interessanter Vorträge wählen.

Die Tagung wurde durch den Organisationsleiter vor Ort und Leiter der Sektion Südbaden, Herrn Dipl.-Ing. SCHLÜTER aus Freiburg, feierlich eröffnet. Es folgte die Begrüßung der Anwesenden durch den Präsidenten der Deutschen Gesellschaft für Kartographie e.V. (DGfK), Herrn Dr. ASCHENBERNER und den Bürgermeister des Tagungsortes, Herrn Dr. MEROETH. Grußworte wurden durch Frau Prof. Dr. KRETSCHMER stellvertretend für die benachbarten Länder Österreich und Schweiz sowie für die Gäste aus den Niederlanden, Frankreich, Ungarn und Tschechien übermittelt. Auch die der

DGfK nahe stehenden Verbände DVW und DGPF sendeten durch die Geschäftsführerin des DVW, Frau SALBACH, Grüße an die Teilnehmer des Kartographentages. Die Festlichkeiten wurden abgerundet durch die Verleihung des *Ravenstein Preises*, der vom Vorsitzenden der DGfK und dem Präsidenten der DGfK an die diesjährigen Preisträger verliehen wurde.

Der einleitende Vortrag mit dem Titel *Kartographie heute – Nutzen für Wirtschaft, Tourismus und Verwaltung* von Herrn Dr. EPPLE aus dem Wirtschaftsministerium Baden-Württembergs gab eine Übersicht über die aktuellen Trends in der Kartographie und stellte damit gleichzeitig einen exzellenten Einstieg in die Thematik dar.

Nach einer Vorstellung der ausstellenden Firmen durch die Organisatoren folgten die Fachvorträge. Der erste Block wurde eröffnet mit einem Bericht zum Stand der 3D Kartierung der Erde. Die Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe in Hannover (BGR) gewährte einen Einblick in die Kartographie der Bundesanstalt heute. Der Tele Atlas Multinet™ wurde als eine Basis für Raster- und Vektorkarten vorgeführt.

Im zweiten Block wurden ein Überblick über die Analyse von Hochwassergebieten gegeben und die für die Analyse wichtigen digitalen hydrologischen Atlanten vorgestellt. Ein Vortrag fasste sich mit dem Grubenrisso ein und heute.

Im *Europaforum* stellten die Länder Österreich, Schweiz, Ungarn und Deutschland ihren jeweiligen Stand der Kartographie in den Geowissenschaften dar. Ein kartographisches Problem, das in naher Zukunft bewältigt sein sollte, ist die Konformität internationaler Datenmodelle. Dieser Sachverhalt wurde thematisiert an einer virtuellen Reise von Frankfurt nach Helsinki. Als ein Referenzprojekt kann in diesem Zusammenhang der *Statistical Atlas of Europe* (STATLAS) gesehen werden, der Kartographie und GIS in einem europäischen Umfeld vereint. Aus Ungarn wurden Grüne Karten für den Natur- und Umweltschutz vorgestellt. Parallel zu dieser Sitzung wurde das Jugendforum abgehalten, in dem der Ausbildungsleitfaden *Kartograph/in* vorgestellt

wurde. Dem gegenüber gestellt werden konnten die Ausbildung und Qualifikation zum Kartographen in verschiedenen EU-Mitgliedstaaten.

Der Vortragsblock *Kartographie und Tourismus* wurde mit dem Beitrag über die Nutzung georeferenzierter Daten in multimedialen Besucherinformationssystemen eröffnet und ergänzt durch einen Bericht über den praktischen Einsatz kartographischer Informationssysteme im Tourismus. Eine Bestimmung des Status Quo und Potenziale kartographischer Medien bei der individuellen Reiseplanung bildeten den Abschluss dieser Reihe.

Anhand eines Referates über das kartographische Konzept für die Deckschichten des Rhein-Aquifers wurde die regionale Kartographie im Dreiländereck eingeleitet. Es folgte eine Präsentation über die Konstruktion und Darstellung des räumlichen Untergrundmodells für den Oberrheingraben. Die Vorstellung des interaktiv zu bedienenden Atlases der Schweiz zeigte das Potenzial multimedialer Inhalte beeindruckend auf. Die Herstellung der Rasterkarte für den Polizeinotruf 110 verbessert die räumliche Orientierung von Rettungskräften. Den Abschluss der beiden Sitzungen zur regionalen Kartographie bildete der Vortrag *La Cartographie en Alsace*.

Der Stand der Kartographie in den Geowissenschaften konnte anhand der modernen kartographischen Methoden in *BGR-Projekte der technischen Zusammenarbeit* verdeutlicht werden. Nach der Schaffung kartographischer Grundlagen im Rahmen einer geologischen Kartierung wurden die Geodaten anschließend in einem Informationssystem ausgewertet. Eine kritische Bewertung der Wahrnehmung kartengestützter Rauminformation aus dem Internet schloss diese Vortragsreihe.

Der große Vortragsblock zum Thema *Tourismus und Karte* wurde mit einem gelungenen Vortrag über die zu erwartenden zukünftigen mobilen Kartenangebote und Geodatendienste im *Personal Digital Assistant* (PDA) eröffnet. Die Touristische Fachdatenbank Baden-Württembergs ist zwar momentan noch lokal in der Landesvermes-

sung gehalten, bietet aber zukünftig die Möglichkeit, über das Internet auch mobil angeboten werden zu können. Der Tirol-Atlas ist in seiner revidierten Form ausschließlich über das Medium Internet zu betrachten und bietet viele interaktiv abzurufende Informationen. Das Internet mit moderner Browser-Technologie und entsprechenden Vektor-basierten Formaten stellt eine hervorragende Basis zur Vermittlung komplexer kartographischer Informationen dar. Dazu zählt auch die Übermittlung von Panoramabildern, durch die der Nutzer interaktiv navigieren kann. Aber auch analoge 3D Karten stellen für Wanderer immer noch eine solide Quelle zur räumlichen Orientierung dar. Als Höhepunkt und gelungener Abschluss dieser Sitzung kann der Vortrag des Leiters und Inhabers des kartographischen Verlages Voigt aus Freiburg gesehen werden. Herr VOIGT stellte seine vielfältigen Erfahrungen aus dem „Tagesgeschäft“ beeindruckend und lebensecht dar, die er an der Schnittstelle Nutzeranforderungen einerseits und Möglichkeiten der (analogen) Kartographie andererseits in seinem Berufsleben gesammelt hat. Die anschließende Diskussion wurde sehr kontrovers geführt und stellte noch einmal die Vor- und Nachteile der analogen und der digitalen Kartographie heraus. So kann als ein Resümee festgehalten werden, dass noch über lange Zeit beide Techniken und die entsprechenden Produkte ihre Daseinsberechtigung haben werden.

Parallel zu den Fachvorträgen wurde die Arbeit in den einzelnen Kommissionen der DGfK seit dem letzten Kartographentag durch deren Leiter vorgestellt und die zukünftig angedachten Aktivitäten geschildert.

Neben dem qualitativ hochwertigen Tagungsprogramm, das sich durch das hohe Niveau der Referenten auszeichnete, wurde eine reichhaltige Auswahl an fachlichen Exkursionen in die Südbadische Region angeboten. Diese Landschaft, die zu den schönsten und klimatisch sehr begünstigten Teilen Deutschlands zählt, erschloss sich so vielen Teilnehmern des 51. Kartographentages.

Es kann den Organisatoren, den vielen Helfern aus der Truppe um Herrn Dipl.-Ing.

SCHLÜTER, auch für das ansprechende Rahmenprogramm ein großes Lob ausgesprochen werden.

Auch im kommenden Jahr wird der Kartographentag wieder in Baden-Württemberg durchgeführt. Er findet im Rahmen der INTERGEO in Stuttgart statt und ihm bleibt an dieser Stelle derselbe Erfolg zu wünschen, der dem diesjährigen bescheinigt werden kann.

MATTHIAS MÖLLER, Vechta

### **Traceability in Large Scale Metrology** Workshop, National Physics Laboratory, Teddington, UK, 05./06. Juni 2003

In einem vom britischen National Physics Laboratory (NPL), dem amerikanischen National Institute of Standards and Technology (NIST) und der deutschen Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) gemeinsam organisierten Workshop kamen ca. 55 Experten aus sieben Ländern zusammen, um das aktuelle Problem der Rückführbarkeit bei der Messung großer Objekte zu diskutieren (large scale metrology, LSM). Im Gegensatz zur industriellen taktilen Koordinatenmesstechnik und zur optischen 3D-Messtechnik in kleineren Messvolumina existieren für diesen Anwendungsbereich bisher keine Richtlinien zur Annahme und Überwachung von Messsystemen bzw. zur Unsicherheit der angegebenen Messergebnisse. Dabei geht es überwiegend um den Einsatz von Laser-Trackern, Photogrammetrie und anderen geodätischen und optischen Verfahren (z. B. Indoor-GPS), die zur Vermessung großer Objekte eingesetzt werden.

Am ersten Tag des Workshop wurden in mehreren Beiträgen grundlegende Messverfahren erläutert. Zur Frage, was in diesem Zusammenhang „große“ Messobjekte seien, schlug W. BÖSEMANN (AICON) in seinem Beitrag *Industrial applications for LSM* eine Objektgröße von mindestens fünf Meter vor, wobei das Messsystem zum Objekt gebracht wird, also mobil ist. R. RULAND

(SLAC, Stanford University) sprach anschließend mit *LSM for accelerators* über Messprobleme bei Teilchenbeschleunigern und die dabei einzuhaltenden hohen Genauigkeiten im Bereich von 1 bis 3 ppm. Noch höhere Genauigkeitsanforderungen existieren beim Bau und Betrieb von Teleskopantennen, die im Beitrag *Metrology challenges associated with large telescopes* von T. ANDERSON (Lund University, Schweden) vorgetragen wurden. Schließlich stellte J. ANDERSON (Bae Systems, UK) mit *Applications of LSM in the aircraft industry* Anwendungen aus dem Bereich des Flugzeugbaus vor. Als Fazit dieser ersten Sitzung kann festgehalten werden, dass überwiegend Laser-Tracker zum Einsatz kommen, wenn Messgenauigkeiten von 10 ppm oder besser erreicht werden müssen. Für Messgenauigkeiten von besser als 1 ppm existieren bisher keine geeigneten Methoden.

Im zweiten Vortragsblock wurde mit dem Beitrag *GPS techniques in engineering metrology* zunächst das Potential von GPS im Bereich der Ingenieurvermessung vorgestellt (P. CROSS, UCL London). *Laser trackers and other tracking systems* standen im Mittelpunkt des Vortrages von S. KYLE (Leica Geosystems, UK). Hier wurde besonders das Konzept der Multilateration erörtert, bei dem bis zu vier Laser-Tracker gleichzeitig einen Objektpunkt erfassen und anschließend über die interferometrisch bestimmten Entfernungen zur 3D-Information gelangen. In einem Vortrag über *Industrial Photogrammetry* wurde von K. EDMUNDSON (GSI, USA) die Methode und das Potential der Photogrammetrie erläutert. Schließlich berichteten T. ESTLER (NIST), H. SCHWENKE (PTB) und G. PEGGS (NPL) mit *LSM-technology and traceability* über den Zusammenhang zwischen Unsicherheitsangabe und Rückführbarkeit, die untrennbar miteinander verbunden sind.

Eine Reihe von Kurzvorträgen sonstiger Tagungsteilnehmer rundete den ersten Tag ab, der sich zunächst grundlegenden Fragen der Messmethoden und der praktischen Anwendungen widmete.

Am zweiten Tag wurde das Thema *Rückführbarkeit* ausführlicher behandelt. Die

drei Organisatoren sprachen jeweils über ihre Aktivitäten im Bereich der Messung großer Objekte. G. PEGGS (NPL, UK) berichtete in *High accuracy for large structures – NPL's activities in LSM* vor allem über Testaufbauten und grundlegende Untersuchungen zum Thema Laser-Tracker und Multilateration. C. FRONCZEK, T. ESTLER und D. SAWYER (NIST, USA) berichteten über *NIST's activities in LSM* und stellten einen ersten Entwurf einer Richtlinie vor, in der die Genauigkeit von Laser-Trackern spezifiziert werden soll. Die Aktivitäten der PTB wurden von H. SCHWENKE und K. WENDT in ihrem Beitrag über *Scaling up coordinate metrology – PTB's activities in LSM* vorgestellt. Hier ging es im Wesentlichen um das Konzept des virtuellen Koordinatenmessgerätes, in dem ein mathematisches Modell eines Gerätes samt Fehlerbudget aufgestellt wird, um mit numerischen Methoden wie der Monte-Carlo-Synthese eine aufgabenbezogenen Messunsicherheit angeben zu können.

In der abschließenden Diskussionsrunde wurde noch einmal das Defizit an verbindlichen Richtlinien zur Genauigkeitsprüfung festgestellt. Vor einem praxisorientierten Testverfahren stehen allerdings noch technologische Probleme, für die es noch keine Lösungen gibt. So blieb die Frage nach der Genauigkeitsüberwachung von Laser-Trackern unbeantwortet, da zur Zeit kein übergeordnet genau arbeitendes Messverfahren bekannt ist. Das Problem ist beim Verfahren der Multilateration noch gravierender. Es wird in Zukunft unabdingbar sein, jedes aufgabenbezogene Messergebnis mit einer verbindlichen Unsicherheit anzugeben, um Rückführbarkeit auf die Standardeinheit Meter gewährleisten zu können. Deutsche Automobilfirmen gehen bereits jetzt dazu über, Rückführbarkeit und Unsicherheitsangabe von allen in der Produktion eingesetzten Messsystemen im Rahmen der einschlägigen Qualitätssicherungsnormen zu verlangen.

Die Tagungsteilnehmer haben das Bedürfnis nach Lösungen unterstrichen, wobei ein erneutes Zusammentreffen der Experten angestrebt wird. Die Workshop-Atmosphäre

re mit offenen Diskussionen auf internationaler Ebene war ein ausgezeichnetes Mittel zur Bündelung von Expertenwissen. Wenn man dabei auch noch in den Pausen so ausgezeichnet versorgt wird, nimmt man an der nächsten Veranstaltung dieser Art wieder gerne teil. Es ist den Organisatoren zu wünschen, dass dies in absehbarer Zeit geschehen wird.

THOMAS LUHMANN, Oldenburg

#### **4<sup>th</sup> International Symposium Remote Sensing of Urban Areas**

Regensburg, 27.–29. 6. 2003

At a time when interest in the use of remote sensing for the study of human settlements is growing overwhelmingly, the 4<sup>th</sup> international symposium on remote sensing of urban areas (URS 2003) comes to prove that what was once thought of as a „narrow“ area in the field of remote sensing is not longer so. More than 120 urban remote sensing researchers and practitioners, representing 36 different countries, convened June 27–29, 2003, in Regensburg, Germany, to take advantage of three days of intensive program that included oral and poster paper presentations, commercial product updates, and social events that provided numerous opportunities to network and exchange ideas with other research partners and colleagues. The beautiful city of Regensburg with its medieval center and modern suburbs provided an attractive setting for the symposium and a reminder of the insights that remote sensing can add to our understanding of urban systems, when the use of technology is augmented by a thorough understanding of urban form and function, as well as the spatial context within which urban systems develop.

The URS 2003 was hosted by the Geography Department at the University of Regensburg and was scientifically co-sponsored by many scientific institutions, including: the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS), the European Association of Remote Sen-

sing Laboratories (EARSeL), the German Society for Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation (DGPF), the University of Regensburg, and the Istanbul Technical University. In addition, several scientific publishers and industrial companies whose journals or tools are recognized in the urban remote sensing arena have sponsored the symposium.

The launch of the new generation of very high resolution imagery and the wide dissemination of a variety of digital data sources that can be used to augment detailed satellite data have brought together an interesting and exciting period in the development of urban remote sensing. This has been expressed by increasing published articles and books on urban remote sensing, new urban specialty groups within many national and international remote sensing societies and a growing number of workshops organized around topics that relate in a way or another to the broader field of urban remote sensing. While this trend is indeed very encouraging to the future of the field, there is also a vital need for those involved in these activities to build ties among themselves to foster progress toward a common agenda. Therefore, the success of the URS 2003 in this regard was spectacular due to its focus on building relationships between different researchers and practitioners toward a unified research agenda for the international community of urban remote sensing. This was evidenced by the symposium's final program that reflected the different perspectives on the way remote sensing is currently applied to tackle urban problems and various ideas on the future trends within the field. These perspectives and ideas were covered in 10 oral sessions and an interactive poster session, organized sequentially thus allowing an extensive interaction among participants. In addition, the two-day exhibition provided a unique opportunity for participants to update their knowledge with the state-of-the-art in the technology.

The oral sessions were dedicated to the following topics:

1. Ecological Aspects/Landscape metrics

2. Urban Information and Decision Support Systems
3. Change Detection Analysis
4. Road Extraction Techniques/Traffic Applications
5. Radar and Thermal Applications
6. Special Applications
7. Extraction of Height and Density
8. Monitoring Urban Land Cover Dynamics and Urban Growth
9. Vulnerability of Urban Areas to Natural Hazards
10. New Information Extraction Strategies

The organization of these sessions, as implied by their topic titles, reflected a balance that the organizers of the symposium have sought between techniques/data driven approaches to urban applications, and thematic/theory driven ones. This balance between applied and academic realms is indeed a very important issue to be considered in the wider agenda of the urban remote sensing community. Oral papers and poster presentations are included in the proceedings of the symposium, available through the international archives of the ISPRS, Volume No. XXXIV-7/W9 under the following title:

Proceedings of the ISPRS WG VII/4 Symposium – Remote Sensing of Urban Areas – June 27– 29, 2003, Regensburg, Germany; Editor, CARSTEN JURGENS

The URS 2003 symposium was another success added to a series of conferences devoted to remote sensing of urban areas. Thanks are due to CARSTEN JURGENS, his students, and all who helped with the organization of the symposium, those who sponsored the symposium, and those who participated and presented their work. While there is a follow-up session on this symposium planned to take place next year during the ISPRS Congressional meeting in Istanbul (August 2004), the 5<sup>th</sup> international symposium will likely take place in 2005 in the United States.

TAREK RASHED, San Diego, USA

### **InSAR cartography project of Venezuela (CARTOSUR II)**

The Airborne Interferometric Synthetic Aperture Radar system (InSAR), Orbi SAR-1 of Orbisat da Amazônia, integrated in an aircraft Turbo Aerocommander has successfully terminated the aerial survey of the States of Bolivar and Delta Amacuro in Venezuela (263 000 sqkm) in the beginning of April 2003. The operational flight survey started in January 2003, overcoming all logistic problems during this time period and successfully produced a huge dataset of superb RADAR raw data. The simultaneous acquisition of two RADAR bands (X- and P-band) allows the production of 518 high quality Ortho-SAR-Maps in a scale of 1: 50 000, including contour lines and various land cover elements such as forest types, water bodies and streams, roads, building density, roads, land use etc.

The collected data are now being processed in a processing center, which has been established especially for this project in the *Centro Profesional del Este* in Caracas. About twelve Venezuelans, who have been specifically trained by Orbisat da Amazônia, work on the required data processing in three shifts for 24 hours a day. They are supported by representatives of Infoterra from Germany and Orbisat, Brazil.

The InSAR processing software, developed by *Orbisat da Amazônia S/A* is generating each day Ortho-SAR-Images and the respective digital ground and surface models, to allow a production of several value added cartographic maps per day, which is performed by additionally developed software through Infoterra and Orbisat.

It is now the daily task of the purchaser of this project, the *Geographical Institute of Venezuela Simon Bolivar (IGVSB)*, to control and catalogue the 518 maps in their database, which are being produced in the scale of 1:50.000.

*Orbisat da Amazônia S/A* is already preparing its equipment for the next national and international projects, which will require higher resolution and height precision than requested within the Venezuelan pro-

ject. The updated OrbiSAR-1 system will therefore offer a spatial resolution of up to 50 cm and a vertical accuracy of up to 30 cm in a full operational mapping mode.

This unique Brazilian InSAR mapping system was developed and manufactured in Campinas, Manaus and Sao José dos Campos – Brazil, by the kind support of Softex and BNDES (Brazilian Development Bank). By today, BNDES extend their support towards the financing of the exportation of the products generated by OrbiSAR-1.

MARKUS ROMBACH, Campinas-SP, Brasilien

### The Remote Sensing and Photogrammetry Society in the United Kingdom\*



Vereint, mit neuem Namen und verändertem Logo sind die britischen Gesellschaften für Fernerkundung und Photogrammetrie in ein „neues Zeitalter“ gestartet.

Mit Wirkung vom 1. 4. 2001 haben sich die beiden bis dahin unabhängig voneinander wirkenden wissenschaftlichen Gesellschaften *The Photogrammetric Society* (PSoc) und *Remote Sensing Society* (RSS) zusammengeschlossen zur *The Remote Sensing and Photogrammetry Society* (RSP Soc).

Offizielle Publikationen der RSP Soc sind:  
a) *The Photogrammetric Record, An International Journal of Photogrammetry*, herausgegeben von: The Remote Sensing and Photogrammetry Society and Blackwell Publishing. Die unter diesem Namen weltweit bekannte und geschätzte wissenschaftliche Zeitschrift wurde seit 1953 von der PSoc herausgegeben. Sie erscheint jetzt viermal jährlich im 3., 6., 9. und 12 Monat. Die *Abstracts* der in *The Photogrammetric Record* gedruckten Artikel sind jetzt auch unter [www.rpsoc.org](http://www.rpsoc.org) verfügbar. b) *International*

*Journal of Remote Sensing*, herausgegeben von RSP Soc und Taylor and Francis mit 18 Heften im Jahr. c) RSP Soc NEWSLETTER, herausgegeben von der RSP Soc mit 4 Heften im Jahr.

*The Photogrammetric Society* (PSoc) war 1952 gegründet worden und die *Remote Sensing Society* (RSS) 1974. Daneben gibt es in Großbritannien noch weitere Gesellschaften für Kartographie, Vermessung, Geographie.

Die Photogrammetrische Gesellschaft hatte nach anhaltendem Rückgang der Mitgliederzahlen im Jahr 1997 beschlossen, eine interne Arbeitsgruppe zur Lösung der bestehenden strukturellen Probleme einzusetzen. Ziel sollte eine breite Verschmelzung von Gremien auf dem Gebiet der Geowissenschaften in Großbritannien sein. Das große Ziel wurde bisher nicht erreicht. Aber es gelang die Vereinigung von PSoc und RSS als ein wichtiger Schritt zur Koordinierung von Kräften und Potential.

Die RSP Soc führt Jahreskonferenzen durch. Im Jahre 2002 wurde der Vorstand neu gewählt mit Prof. D.W. RHIND als Präsidenten, I. DOWNEY als Chairman, J.H. CHANDLER als Vice-Chairman, J. FINCH als Honorary General Secretary und R.J. TAFT als Honorary Treasurer und anderen.

Die RSP Soc Annual Conference 2003 fand vom 10. bis 12. 9. in Nottingham statt. Das Thema lautete: „Scales and Dynamics in Observing the Environment“.

Als Editor der Zeitschrift *The Photogrammetric Record* wirkt seit mehreren Jahren PAUL R.T. NEWBY. Editor Emeritus ist KEITH B. ATKINSON.

\* Quellen: – *The Photogrammetric Record, An International Journal of Photogrammetry*. Published by The Remote Sensing and Photogrammetry Society and Blackwell Publishing, United Kingdom, March 2003, Vol.18, No.101 mit dem Beitrag von R.P. KIRBY: *The Merger of „The Photogrammetric Society“ and „The Remote Sensing Society“* S. 59–71.

– *RSO Soc Newsletter* No.8, April 2003.

– Broschüren der RSP Soc.

– WEB: <http://www.rpsoc.org>

KLAUS SZANGOLIES, Jena

## Neue Mitglieder der DGPF

Als neue Mitglieder begrüßen wir:

Dipl.-Ing. CORINNA BELZ, 16816 Neuruppin  
 Dipl.-Geoök. ANNETT FRICK, 14482 Potsdam  
 Dipl.-Ing. ANSGAR GREIWE, 49377 Vechta  
 JÖRG HEBLINSKI, 86938 Schondorf  
 STEFAN HEINRICH, 21337 Lüneburg  
 Dipl.-Ing. FRANK HENZE, 06114 Halle  
 Prof. Dr. BIRGIT KLEINSCHMIT, 10587 Berlin  
 Dipl.-Ing. ANDREAS KOCH, 30167 Hannover  
 Dipl.-Ing. MAREN KOHLSTOCK, Redwood City, CA 94063, USA  
 Dipl.-Ing. ULRICH KRAUSE, 53177 Bonn  
 Dipl.-Geogr. KARL-PETER KRÜGER, 48153 Münster  
 Dipl.-Geogr. KARSTEN KRÜGER, 24098 Kiel  
 Dipl.-Geogr. TOBIA LAKES, 10247 Berlin  
 Dr. rer. nat. CHRISTIANE LECHTENBÖRGER, 76133 Karlsruhe  
 Dipl.-Ing. BARBARA MEIERHÖFER, 07546 Gera  
 Dipl.-Ing. DANIEL MUHLE, 26131 Oldenburg

Dr. ANDREAS MÜTERTHIES, 48145 Münster  
 STEFFEN PATZSCHKE, 06110 Halle  
 Dr. BERT REIN, 55099 Mainz  
 Dr. DIRK RIEKE-ZAPP, CH-3012 Bern  
 MICHAEL SCHÄFER, 38678 Clausthal-Zellerfeld  
 Dipl.-Ing. RALPH SCHMIDT, 30167 Hannover  
 SÖREN STEINBACH, 37075 Göttingen  
 RENÉ THIEME, 22926 Ahrensburg  
 AXEL WIECHERN, 21217 Seevetal  
 Dipl.-Ing. OLIVER ZIMMERMANN, 66606 St. Wendel

Neue korporative Mitglieder:

European Space Imaging, 80634 München  
 fpi Fuchs Ingenieure GmbH, 50226 Frechen  
 GeoSysteme GmbH, ExperTeam, 39104 Magdeburg  
 Geographisches Institut, Lehrstuhl für Fernerkundung, 97074 Würzburg  
 TU Cottbus, Lehrstuhl für Vermessungskunde, 03013 Cottbus

## Hochschulnachrichten

### Technische Universität Wien

Herr Dipl.-Ing. **MARTIN KERSCHNER** hat sein Doktoratstudium im Juni 2003 an der Fakultät für Technische Naturwissenschaften und Informatik der TU Wien mit der Dissertation „*Snakes für Aufgaben der digitalen Photogrammetrie und Topographie*“ zum Doktor der technischen Wissenschaften (Dr.techn.) abgeschlossen. 1. Begutachter: Univ. Prof. Dr. KARL KRAUS (Technische Universität Wien, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung); 2. Begutachter: Univ. Prof. Dr. HORST BISCHOF (Technische Universität Wien, Institut für Rechnergestützte Automation).

### Kurzfassung

Snakes gelten in der Computer Vision als ein allgemein bekanntes Verfahren zum automatisierten (halbautomatischen) Extrahieren von Kanten und Linien in digitalen Bildern. Ausgehend von einer groben Näherung der Form der gesuchten Kurve und ihrer Lage im Bild verbessert die Snake ihre Form und Lage durch Optimierung eines komplexen Energiefunctionals. Dabei soll sie die gesuchte Kurve detailgetreu nachbilden. Die Stärken von Snakes liegen in ihrer Robustheit gegenüber Rauschen im Bild und Lücken in der abgebildeten Kurve. Zahlreiche kritische Konstellationen wurden allerdings publiziert, die ihr Konver-

genzverhalten und ihre Robustheit beeinträchtigen. Es soll beurteilt werden, inwieweit sich Snakes auch angesichts ihrer Schwächen für Aufgaben in der digitalen Photogrammetrie und Topographie eignen.

Schwächen der Methode waren für viele dem ursprünglichen Aufsatz folgende Publikationen Anlass zur Verbesserung der Methode. Ein Schwerpunkt dieser Arbeit ist eine umfassende Zusammenstellung und Beurteilung erweiterter und verbesserter Ansätze. Weiter werden einige im Rahmen der Dissertation erarbeitete Bausteine zu einem für die jeweilige Anwendung optimalen Ansatz vorgestellt.

Die Probleme der Snakes können auf drei verschiedene Arten gelöst werden:

- Wahl des Optimierungsalgorithmus:

Fünf verschiedene Optimierungsmethoden werden präsentiert. Neben der ursprünglichen Lösung über Variationsrechnung werden die Lösungen mittels dynamischer Programmierung, mittels kleinst-Quadrat-Ausgleichung, mittels eines Level-Set-Ansatzes sowie mittels Simulated Annealing untersucht.

- Anpassung der Energiefunktion:

Die Energiefunktion besteht aus mehreren Termen für unterschiedliche Zwecke. Die vielfältigen publizierten Formulierungen der Energieterme werden analysiert. Insbesondere die internen Energieterme, die für eine glatte Form der Snake verantwortlich sind, werden kritisch betrachtet. Neue Formulierungen werden vorgeschlagen, die das Schrumpfen der Kurve unterbinden sollen.

- Einsatz einer speziellen Anwendungsstrategie:

Hierarchische Strategien, eine Strategie vom Groben ins Feine oder die Optimierung zwischen zwei Punkten wurden in der Literatur bereits vorgeschlagen. Im Rahmen dieser Arbeit wurden andere Strategien entwickelt: die Unterteilung in Segmente sowie die Verwendung zweier Snakes (Twin Snakes).

Die Arbeit schließt mit einigen möglichen Anwendungen von Snakes im Bereich der

digitalen Photogrammetrie und der Topographie. Neben der Kanten- und Liniextraktion im dreidimensionalen Raum wird der Einsatz von Snakes für die Schnittliniensuche bei der Orthophoto-Mosaikierung sowie für die Detektion von Kanten in Geländemodellen vorgeschlagen.

## ETH Zürich

### Nachdiplomkurs Räumliche Informationssysteme

An der ETH Zürich, Departement Bau, Umwelt und Geomatik findet im Wintersemester 2003/2004 zum wiederholten Mal der Nachdiplomkurs über räumliche Informationssysteme (RIS) statt. Der Kurs richtet sich an Fachleute, die sich in ihrem Berufsfeld vorwiegend mit Geodaten befassen. Vermittelt wird das erforderliche Wissen über eine effiziente und moderne Erfassung, Verwaltung, Analyse und Darstellung raumbezogener Daten. Die Teilnehmer erhalten einen Überblick über verschiedene Datenakquisitions- und Informationssysteme und lernen ihre Grundfunktionen und Einsatzmöglichkeiten kennen. Der Unterricht wird in Form von Vorlesungen, Übungen, Demonstrationen und Fallstudien erteilt. In der letzten Kurswoche ermöglichen Wahlmodule eine gezielte Vertiefung aktueller RIS-Themen. Diese Module können auch separat besucht werden. Der Nachdiplomkurs dauert insgesamt fünf Wochen (200 Stunden). Es ist eine gestaffelte Ausbildung von einer Kurswoche (40 Stunden) pro Monat. Die genauen Termine sind: 10.–14. Nov. 2003, 8.–12. Dez. 2003, 12.–16. Jan. 2004, 09.–13. Feb. 2004, 01.–05. März 2004.

Anmeldeschluss ist der 15. Oktober 2003. Die Kursgebühr beträgt 2900.— Fr. Detaillierte Informationen finden sich auf der Webseite: [www.photogrammetry.ethz.ch/ndk](http://www.photogrammetry.ethz.ch/ndk). Auskünfte erteilt das NDK-Sekretariat, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH Hönggerberg, CH-8093 Zürich (Frau S. Sebestyen, 01633 31 57, [sebestyen@geod.baug.ethz.ch](mailto:sebestyen@geod.baug.ethz.ch); Frau K. Wolff, 01633 30 54, [wolff@geod.baug.ethz.ch](mailto:wolff@geod.baug.ethz.ch)).

## Buchbesprechungen

GÜNTER CHESI & THOMAS WEINHOLD, (Hrsg.), 2003: 12. Internationale Geodätische Woche Obergurgl 2003. VIII, 265 S., Kartoniert. Herbert Wichmann, Hüthig Fachverlage, Heidelberg (www.huethig.de). Bestellungen: e-mail kundenservice@hue-thig.de ISBN 3-87907-401-1

Mit ihren Vorträgen und abendlichen Arbeitskreisen bietet die Internationale Geodätische Woche Obergurgl seit einem Viertel-Jahrhundert ein aktuelles Forum für Informationsaustausch und Weiterbildung auf den Gebieten Ingenieurgeodäsie, Fernerkundung und Geoinformationswesen. In diesem Jahr trafen sich bereits zum 12. Male Vertreter von Akademie und Wirtschaft im großartigen alpinen Ambiente des hinteren Ötztals in den österreichischen Alpen, um sich mit den neuesten Theorien, Methoden und Anwendungen ihres Faches vertraut zu machen.

Das vorliegende Buch umfasst 31 Vorträge von 54 (Ko-)Autoren, vorwiegend aus dem deutschsprachigen Raum, und behandelt ein weites Spektrum von Fragestellungen, beginnend mit grundlegenden geodätischen Anliegen (K. BRETTERBAUER: „Steigt der Meeresspiegel?“) bis zu aktuellen Anwendungen von Karten-basierten mobilen Geoinformationssystemen (M. LECHTHALER: „Informationserschließung durch Location Based Services“). Einige Artikel bringen auch einen internationalen Touch in den Tagungsband, wie zum Beispiel jener von H.-O. PETERS: „Als Hochschullehrer im jungen Estland, der alten Heimat der Deutschbalten“. Beim Studium der Beiträge begegnen dem Leser so bekannte Objekte, wie das bayerische Schloss Neuschwanstein, der Brenner-Basistunnel oder das Schalker Fußballstadion in Gelsenkirchen.

Wieder einmal wird durch die verschiedenen Beiträge dokumentiert, wie sehr heute die traditionellen Grenzen zwischen den einzelnen Teildisziplinen verschwimmen, und sich Vermessungswesen, Geodäsie, Geophy-

sik, Fernerkundung und Kartographie vermengen. Bemerkenswert ist, dass neben den eigentlichen Tätigkeiten des Monitoring und der Dokumentation, die in den letzten Jahren noch an Bedeutung gewonnen haben, einer hochqualitativen Visualisierung von Geodaten in nahezu allen Bereichen ein besonders hoher Stellenwert eingeräumt wird.

Der gegenständliche Band, der durch 32 Farbbildungen bereichert wird, stellt zweifelsohne ein bemerkenswertes und aktuelles Kompendium dar, welches komplementär zu anderen Tagungspublikationen des deutschsprachigen Raumes auf dem Gebiet der Geomatik (z. B. Stuttgart, Salzburg, Münster) zu sehen ist. Ein Buch, welches in keiner Fachbibliothek fehlen sollte.

MANFRED BUCHROITHNER, Dresden

NIKOLAS PRECHTEL, (Hrsg.), 2003: Geoinformationssysteme. Theorie, Anwendungen, Problemlösungen. Kartographische Bausteine, Band 21, Institut für Kartographie, TU Dresden, 141 S., Farbtafelanhang, mit CD-ROM, ISBN 3-86005-355-8.

Das Institut für Kartographie hat am 26./27. September letzten Jahres zur 7. Dresdner Sommerschule eingeladen. Bei der Begrüßung betonte Dr. NIKOLAS PRECHTEL den noch bestehenden Entwicklungs- und Aufholbedarf, um das, was bereits heute an Geoinformation verfügbar ist, auch optimal zu nutzen. Daher sei es der Zweck der Veranstaltung, einen zumindest kleinen Ausschnitt aus den Anwendungsfeldern von Geoinformationssystemen der Öffentlichkeit zu präsentieren. Die Beiträge orientieren sich größtenteils an Projekten, die am Institut für Kartographie der Universität Dresden bearbeitet werden. Die Übersicht über die Themen der Sommerschule findet sich als Beitragssammlung in dem oben ge-

nannten Buch wieder, wobei der Fokus der Beiträge eindeutig auf Anwendungen und konkreten Problemlösungen liegt.

Die Beiträge decken einen großen Teil des GIS-Anwendungsspektrums ab, beginnend mit der GIS-Basisinformation (ATKIS), über GIS-Aufgaben von und für die Planung (z. B. DIGROK – Digitales Raumordnungskataster, Flächenentwicklungsanalyse), Internet-Visualisierung (mittels SVG), GIS-Einsatz in der Forstverwaltung (FGIS Sachsen, Automatische Hangneigungs- und -richtungsableitung), in Hydrologie, Wasser- und Energieversorgung (Hydrologische Modellierung, Netzdokumentation, Hochwasser-Schadensdokumentation), in Routen- und Standortplanung (Zeitbedarfsmodellierung für ÖPNV) sowie für Naturschutzaufgaben (z. B. Russischer Altai). Nicht alle Vortragsthemen sind im Tagungsband wiederzufinden, andererseits ist dieser um zwei Zusatzberichte erweitert, um die vollständige Abdeckung der Themengebiete durch das Vortragsprogramm auch im Buch wiederherzustellen.

Einige Beiträge möchte ich hervorheben, weil ich sie persönlich besonders interessant fand. Zum Ersten der Beitrag über *SVG zur Internetpräsentation von Geodaten* von INGBORG WILFERT: Neben einer Kurzeinführung über das Scalable Vector Graphics-Format, ist auf der beiliegenden CD ROM das gelungene Beispiel einer Campuskarte der TU Dresden als SVG-Graphik eingebunden in eine HTML-Seite zu finden. Vielfältige Funktionalitäten (Zoomen, Gebäudeabfragen, Zusatzinformationen zum Campus) und eine animierte Darstellung der ÖPNV-Haltestellen zeigen die interessanten Möglichkeiten, die sich durch SVG und Javascript für die Web-Kartographie ergeben.

Der Beitrag *Zeitnahe GIS-Datenerfassung – Kartierung des Weißeritz-Überflutungsgebietes* von KLAUS HABERMANN und NIKOLAS PRECHTEL berichtet von der nach der sächsischen Flutkatastrophe vom letzten August ad-hoc eingerichteten Projektgruppe, welche die noch sichtbaren Flutmarken des Flusses Weißeritz mit GPS-Handempfängern erfasst und kartiert hat. Durch die Verschneidung sowie Überlagerung mit ande-

ren Geodaten konnte eine präzise Dokumentation dieses Schadensereignisses realisiert und damit ein Beitrag zur Flutprävention geleistet werden.

Als letzter Artikel sei die *Zeitbedarfsmodellierung für den ÖPNV Dresden in Arc/Info* von MARIO POLLACK erwähnt. Für Verkehrsplanungszwecke müssen Fahrpläne automatisch und computergestützt ausgewertet werden, bei Verwendung eines GIS stehen Tools für Netzwerkberechnungen und Visualisierungsmöglichkeiten zur Verfügung. Für das ÖPNV-Gebiet von Dresden wurde durch die Kombination von digitalen Fahrplandaten, dreidimensionaler Netztopologie für Straßen, Wege und ÖPNV-Netzen, sowie kalkulierten Umsteigezeiten mit Hilfe von Routing-Funktionen der Zeitbedarf innerhalb des Streckennetzes ermittelt. Mittels Isochronen-Karten können die Ergebnisse anschaulich kommuniziert werden.

Da die Referenten zum großen Teil aus Dresden und Umgebung stammten, wurden in den Vorträge fast ausschließlich GIS-Projekte und Anwendungen aus Sachsen vorgestellt. Vielfach sind es sogar Projekte oder Diplomarbeiten vom Institut für Kartographie der TU Dresden selbst. Doch gerade dies ermöglicht es dem Leser, einen in sich geschlossenen Blick auf unbekanntere oder auch wiederkehrende Problemstellungen, Verfahren und Lösungen im Bereich von GIS kennen zu lernen. Außerdem vermittelt es einen interessanten Einblick in die Betätigungsfelder und Kompetenzen des Dresdner Instituts für Kartographie.

BIRGIT ELIAS, Hannover

MANFRED BAUER, 2003: Vermessung und Ortung mit Satelliten. GPS und andere satellitengestützte Navigationssysteme. 5., neu bearbeitete und erweiterte Auflage, 392 S. kartoniert. Herbert Wichmann, Hüthig Fachverlage Heidelberg ISBN 3-87907-360-0.

Mit der vorliegenden neu bearbeiteten und erweiterten Auflage hat der Autor der sich rasant entwickelnden Technologie der Satel-

litennavigation Rechnung getragen. Das kommt einerseits darin zum Ausdruck, dass seit 1989 bereits die 5. Auflage des Buches erschienen ist und andererseits durch die Hinzunahme von Prof. Dr.-Ing. habil. L. WANNINGER als Zweitautor wesentliche Erweiterungen am Inhalt des Buches vorgenommen werden konnten.

Das Buch gliedert sich in insgesamt 11 Abschnitte, wovon die letzten 3 als Anlagen bezeichnet werden. In der Einführung wird auf 58 Seiten ein kurzer Überblick zu den Fragen der Vermessung, der Satellitengeodäsie und der Ortung gegeben. Dabei werden einzelne Entwicklungsabschnitte der Erdmessung vor dem Satellitenzeitalter und mit Hilfe von Satelliten beleuchtet. Einen gesonderten Abschnitt nehmen die Referenzsysteme der Geodäsie, deren Definition und Transformationen ein. Dabei wird auch auf die gegenwärtig in der deutschen Landesvermessung gebräuchlichen Koordinatensysteme hingewiesen.

Bei den Theoretischen Grundlagen (95 Seiten) werden ausführlich die Themen behandelt, die mit der Anwendung satellitengeodätischer Verfahren zur Positionsbestimmung und Navigation notwendig sind. Solche Themen sind die Berechnung der Satellitenbahnen (KEPLER-Ellipse), die verschiedenen Koordinatensysteme (astronomische und terrestrische), Koordinatentransformationen zwischen kartesischen, ellipsoidischen und topozentrischen Koordinaten, die Ableitung von Gebrauchshöhen aus ellipsoidischen Höhen, die Bedeutung der verschiedenen Zeitsysteme, die physikalischen Eigenschaften elektromagnetischer Wellen bei ihrer Ausbreitung, die Modellierung und Codierung der elektromagnetischen Signale für die Entfernungsmessung, das Satellitendatum sowie die Definition von Genauigkeitsmaßen. Abschließend werden noch allgemeingültige Anforderungen an Navigationssysteme formuliert.

Der dritte Abschnitt (89 Seiten) hat das Global Positioning System GPS zum Inhalt. Nach einem kurzen historischen Abriss werden einleitend die Bestandteile des Systems, seine Zweckbestimmung, die Signalstruktur und der Inhalt der ausgesendeten Naviga-

tionsnachricht behandelt. Es schließen sich Ausführungen zum Referenzsystem des GPS, den Messgrößen und deren Modellierung an. Abschließend werden die unterschiedlichen Verfahren der relativen Positionsbestimmung, deren Genauigkeit und die damit zusammenhängenden Anforderungen an die GPS-Empfänger vorgestellt.

In dem nachfolgenden vierten Abschnitt (24 Seiten) steht das russische Satellitennavigationssystem GLONASS im Mittelpunkt. Die Gliederung des Abschnitts ist mit dem vorhergehenden vergleichbar und es werden inhaltlich die gleichen Schwerpunkte behandelt.

Im Abschnitt 5 (6 Seiten) und Abschnitt 6 (10 Seiten) werden andere, in der Geodäsie weniger gebräuchliche Satellitennavigationssysteme vorgestellt. Die Beschreibungen beinhalten ebenfalls den Aufbau, die Funktionsweise und die Einsatzmöglichkeiten der Navigationssysteme.

In die nähere Zukunft gerichtet ist der 7. Abschnitt (7 Seiten). In ihm wird das in der Planungsphase befindliche europäische Navigationssystem GALLILEO vorgestellt.

Mit dem Abschnitt 8 (41 Seiten) zur Ortung und Vermessung mit Satelliten in der Praxis werden Hinweise für den Einsatz des Verfahrens gegeben. Dabei wird auf solche Aspekte eingegangen, die sich mit der Vorbereitung der Messungen, der Antennenkalibrierung oder der Wahl des Auswertemodus befassen.

Die abschließenden drei Anhänge stellen Informationen zu den geodätischen Referenzsystemen und -netzen, den terrestrischen DGPS-Diensten und den Datenformaten zusammen.

Das vorliegende Buch soll nach der Presseinformation des Verlages dem Leser einen klaren Einblick in die Möglichkeiten und Grenzen satellitengestützter Navigationssysteme geben. Das kann den Autoren und dem Verlag bestätigt werden. Durch die Einbeziehung zusätzlicher Beiträge von L. WANNINGER hat das Buch inhaltlich gewonnen. Es ist hervorzuheben, dass sich der Inhalt an den neuesten Entwicklungen und Entscheidungen zur Weiterentwicklung und

Anwendung der Satellitennavigation international aber auch im Rahmen der deutschen Vermessungsverwaltung orientiert. Für den Leser wurde der über viele Gebiete der Physik und der Geodäsie gefächerte Inhalt methodisch gut und klar verständlich aufbereitet. Bemerkenswert sind auch die teilweise unkomplizierten Darstellungen der geodätischen Grundlagen.

Der insgesamt gute Eindruck des Buches wird geringfügig geschmälert durch eine inkonsequente Umsetzung der neuen Rechtschreibung, eine Reihe von Druckfehlern

sowie der Wiederholung eines Absatzes (Seiten 124/125) und falschen Bezügen zwischen den Abschnitten (auf Seite 225 Hinweis zu Abschnitt 8.4).

Durch seinen übersichtlichen Aufbau, die aktuelle, umfassende und methodisch gute Aufbereitung des Inhaltes und nicht zuletzt wegen der überdurchschnittlich reichhaltigen Hinweise auf zusätzliche Literaturstellen ist das Buch Studierenden und Fachleuten gleichermaßen zu empfehlen.

ECKHARDT SEYFERT, Potsdam

## Vorankündigungen

### 2003

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

3.–7. November: **ACRS 2003** in **Pusan**, Korea. Auskünfte durch: Prof. Choen Kim, Tel.: +82-2-910-4809, e-mail: krsr@kmu.kookmin.ac.kr, 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

6.–8. November: **Denkmäler 3D**, Kolloquium für Denkmalpfleger, Archäologen, Architekten und Geodäten im Rhurlandmuseum **Essen**. Auskünfte durch: Prof. Heinz-Jürgen Przybilla, Universität Duisburg-Essen, Tel.: 0201-183-7332, Fax: 0201-183-7379, e-mail: przybilla@uni-essen.de, www.vermessung.uni-essen.de

6.–8. November: **ISPRS WG IV/4 tutorial on Spatial Data Infrastructure for Urban Planning and Management in DehraDun**, Indien. Auskünfte durch: Parth Sarathi Roy, Chair WG IV/4, Tel.: +91-135-744 583, Fax: +91-135-741 987, e-mail: prs@iirs.gov.in

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

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/.

15.–18. November: **Asia GIS 2003 Conference in Wuhan**, China. Auskünfte durch: Ms. Shi Lite, Tel./Fax: +86-27-8764-3969, e-mail: lilyshi@mail.liesmars.wtusm.edu.cn, little\_shi@sina.com, http://mail.liesmars.wtusm.edu.cn/asiagis2003/

15.–18. November: **International Symposium on GPS/GNSS in Tokyo**. Auskünfte durch: Maritime Transport Co-research Center, Tel.: +81-3-5245-7376, Fax: +81-3-5620-6468, e-mail: webmaster@gnss.jp, <http://www.gnss.jp>

20./21. November: Symposium **WebMapping 2003** an der Universität **Potsdam**. Auskünfte durch: Hasso-Plattner-Institut, Prof.-Dr.-Helmert-Straße 2–3, 14482 Potsdam (Griebnitzsee), Tel.: 0331-5509 180, Fax: 0331-5509 189, [www.web-mapping.de](http://www.web-mapping.de)

26.–28. November: Kolloquium **Téledétection et Photogrammètrie pour le Développement en milieu Urbain** (Colloque Ville «Pixels et cités» in **Marne La Vallée**, Frankreich. Auskünfte durch: Société Française de Photogrammètrie et de Téledétection SFPT, ENSG – 6–8, avenue Blaise Pascal, Cité Descartes, F-77455 Marne La Vallée Cedex 2, Tel.: 01-64-15 32 86, Fax: 01-64-15 32 85, e-mail: sfpt@ensg.ign.fr, <http://www.ign.fr/sfpt>

2.–5. Dezember: **ISPRS WG I/2 International Workshop on Radiometric & Geometric Calibration** in Stennis Space Center, **Gulport**, Miss., USA. Auskünfte durch: Prof. Stanley Morain, Pres.Com.I, e-mail: smorain@edac.unm.edu, Amy Budge, e-mail: abudge@edac.unm.edu

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, <http://kartoweb.itc.nl/SADM 2003>

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

10.–12. Dezember: 4<sup>th</sup> **International Conference on Web Information Systems Enginee-**

**ring in Rom**. Auskünfte durch: WISE 2003, e-mail: wise03@dis.uniroma1.it, [www.dis.uniroma1.it/~wise03/](http://www.dis.uniroma1.it/~wise03/)

13. Dezember: **Third International Workshop on Web and Wireless Geographical Information Systems „W2GIS 2003“ in Rom**. Auskünfte durch: Dr. Michela Bertolotto, e-mail: michela.bertolotto@ucd.ie, [www.cs.ucd.ie/w2gis/](http://www.cs.ucd.ie/w2gis/)

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

## 2004

28./29. Januar: **3. Oldenburger 3D-Tage: Optische 3D-Messtechnik, Photogrammetrie, Laserscanning in Oldenburg**.

Organisation: Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik (IAPG), FH Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelmshaven; Arbeitskreis Nahbereichsphotogrammetrie der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF). [www.fh-oow.de/3dtage](http://www.fh-oow.de/3dtage) Letzter Termin zur Einreichung eines Vortrages: 14. 11. 2003

10.–12. März: **9. Münchner Fortbildungsseminar „Geoinformationssysteme“ in München**. <http://www.rundertischgis.de>

15.–19. März: 14<sup>th</sup> **International Conference on Engineering Surveying in Zürich**. Auskünfte durch: Prof. Hilmar Ingensand, Tel.: +41-1-633-3056, Fax: +41-1-633-1101, e-mail: ingensand@geod.baug.ethz.ch, [www.iv2004.ethz.ch/index—e.htm](http://www.iv2004.ethz.ch/index—e.htm)

23.–28. Mai: **FIG Working Week and XXVII General Assembly in Athen**, Griechenland. Auskünfte durch: FIG 2004 Organizing Committee, e-mail: fig2004@tee.gr, <http://www.tee.gr/fig2004/>

24.–28. Mai: **ASPRS Annual Conference in Denver, CO, USA**. Auskünfte durch: ASPRS, Tel.: +1-301-493-0290, Fax: +1-301-493-0208, e-mail: [asprs@asprs.org](mailto:asprs@asprs.org), [www.asprs.org/asprs/meetings/calendar.html](http://www.asprs.org/asprs/meetings/calendar.html)

25.–27. Mai: 24<sup>th</sup> **EARSeL Symposium in Dubrovnik, Kroatien**. Auskünfte durch: [earsel@meteo.fr](mailto:earsel@meteo.fr)

10.–12. Juli: **ISPRS IC WG II/IV 5<sup>th</sup> Joint ICA/ ISPRS/ EuroGeographics Workshop on Incremental Updating and Versioning of Spatial Data Bases in Istanbul**. 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](mailto:peled@geo.haifa.ac.il) und [rjb@rjb-3d.com](mailto:rjb@rjb-3d.com), <http://geo.haifa.ac.il/~icaupdt>

12.–23. Juli: **XX<sup>th</sup> ISPRS Congress – Geo Imagery Bridging Continents in Istanbul**. Auskünfte durch: Kongressdirektor Prof. M. Orhan Altan, Tel.: +90-212-285-3810, Fax: +90-212-285-6587, e-mail: [oaltan@itu.edu.tr](mailto:oaltan@itu.edu.tr), [www.isprs2004-istanbul.com](http://www.isprs2004-istanbul.com)

18.–25. Juli: 35<sup>th</sup> **COSPAR Assembly in Paris**. Auskünfte durch: COSPAR Secretariat, Tel.: +33-1-45 25 06 79, Fax: +33-1-40 50 98 27, e-mail: [cospar@cosparhq.org](mailto:cospar@cosparhq.org), <http://www.cosparhq.org/>

20.–24. September: **IEEE/ IGARSS 2004 in Anchorage, USA**. Auskünfte durch: Dr. Bill Emery, e-mail: [Emery@frodo.colorado.edu](mailto:Emery@frodo.colorado.edu), <http://ewh.ieee.org/soc/grss/igarss.html>

13.–15. Oktober: **INTERGEO 2004 in Stuttgart**. Auskünfte durch: [www.dvw.de](http://www.dvw.de) und [www.hinte-messe.de](http://www.hinte-messe.de)

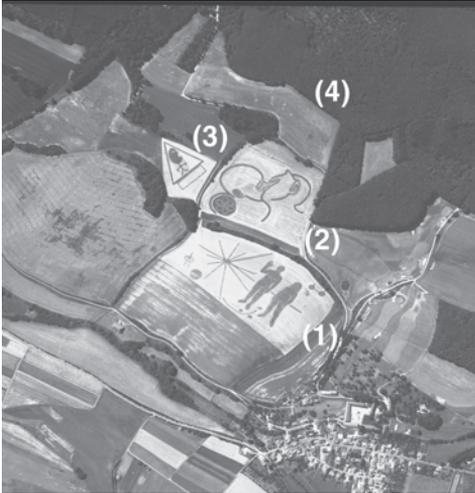
## 2005

7.–11. März: **ASPRS Annual Conference in Baltimore, MD, USA**. Auskünfte durch: ASPRS, Tel.: +1-301-493-0290, Fax: +1-301-493-0208, e-mail: [asprs@asprs.org](mailto:asprs@asprs.org), [www.asprs.org/asprs/meetings/calendar.html](http://www.asprs.org/asprs/meetings/calendar.html)

7.–12. Mai: **FIG Working Week and XXVIII General Assembly in Kairo, Ägypten**. Auskünfte durch: FIG Office, Tel.: +45-38-861 081, Fax: +45-38-860 252, e-mail: [fig@fig.net](mailto:fig@fig.net), [www.ddl.org/figtree/events/events2005.htm](http://www.ddl.org/figtree/events/events2005.htm)

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

## Zum Titelbild



### Kunst im Luftbild

Zur Dokumentation der Landesfläche werden im Bundesland Hessen in größeren Zeitabständen landesweite Bildflüge durchgeführt. Der neueste fand im Jahr 1999 statt mit Farbdiapodiamaterial im Bildmaßstab 1:24 000 mit der Kamera 15/23. Ein Ausschnitt aus dem Bild 542/99-440 vom 18. Juli 1999 gegen 10 Uhr zeigt eine Landschaft in Nordost-Hessen, Werra-Meißner-Kreis, Gemeinde Herleshausen, Gut Willershhausen.

Sicherlich gehört es nicht zu den üblichen Aufgaben eines Luftbildinterpreten, derartige Abbildungen zu deuten. Da es sich offensichtlich um künstlerische Formen handelt, sind im Folgenden zu den einzelnen Darstellungen Urheber, Titel, Feldfrucht und Flächengröße genannt:

Bei dem in der vorstehenden Abbildung mit (1) gekennzeichneten Kunstwerk handelt es sich um eine Arbeit von HEINRICH BUNZEL mit dem Titel „*Irgendwo muss Leben sein*“ auf einem Gerstefeld mit ca. 500 m Länge und 300 m Breite. Herr BUNZEL wurde im Jahr 1950 in München geboren und ist von Beruf Gärtner. Er ist bekannt für viele entsprechende „Artfield“-Projekte in München, Frankfurt und Hamburg.

Mit (2) gekennzeichnet ist ein Werk von UGO BOSSI mit dem Titel „*Wie man den Teufel verführt*“ auf einem Feld in der Größe 400 m × 300 m mit Lein-Pflanzen. Herr BOSSI wurde im Jahr 1943 in München geboren und hat ein Diplom der Bildenden Künste in München.

Bei (3) handelt es sich um ein Werk von BEN PATTERSON mit dem Titel „*Aliens keep out!*“ auf einem Gerstefeld der Größe 170 m × 200 m. Herr PATTERSON wurde im Jahr 1934 in Pittsburgh geboren und ist von Hause aus Musiker.

Noch nicht ganz fertiggestellt war am 18. Juli das Werk (4) von JAKOB DE CHIRICO mit dem Titel „*Der Engel fesselte den Drachen für eintausend Jahre*“ (Apokalypse 20.06) auf einem Lein-Pflanzenfeld der Größe 250 m × 120 m. Herr DE CHIRICO wurde im Jahr 1934 in Innsbruck geboren und hat ein Diplom der Akademie der Bildenden Künste in München.

Insgesamt handelt es sich um eine Feldfläche von 33,6 ha, entsprechend ca. 45 Fußballfeldern, die von dem Kulturforum Gut Willershhausen GENIUS LOCI e.V. betreut wurden. Öffentlich vorgestellt wurden die Kunstwerke am 24. Juli 1999. Sie waren damals auch durch organisierte Hubschrauberflüge zu betrachten. Entsprechend der Jahreszeit waren Farb-Veränderungen der Pflanzen in Kauf zu nehmen. Heute ist in der Örtlichkeit von den Kunstwerken nichts mehr zu erkennen.

Wie gefällt Ihnen als Leser dieser Zeitschrift diese Kunstform, die als *Artfield-Projektion* bezeichnet wird?

Ausschnitt aus Luftbild 542/99-440.  
Vervielfältigt mit Genehmigung des Hessischen Landesvermessungsamtes unter Nr. 2/03.

HELMUT KANTELHARDT, Wiesbaden