

# PRG

# Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation

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

Jahrgang 2007, Heft 4

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

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

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



E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung  
(Nägele u. Obermiller) Stuttgart 2007



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.



---

Herausgeber:

© 2007 Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) e.V.  
Präsident: Prof. Dr.-Ing. Thomas Luhmann, Fachhochschule Oldenburg Ostfriesland Wilhelmshaven, Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik, Ofener Str. 16, D-26121 Oldenburg, Tel.: +49-441-7708-3172, e-mail: Praesident@dgpf.de, www.dgpf.de  
Geschäftsstelle: Dr. Klaus-Ulrich Komp, c/o EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH, Oststraße 2–18, D-48145 Münster, e-mail: klaus.komp@eftas.com

Published by:

E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Johannesstraße 3 A, D-70176 Stuttgart. Tel.: 0711/351456-0, Fax: 0711/351456-99, e-mail: mail@schweizerbart.de  
Internet: <http://www.schweizerbart.de>

© Gedruckt auf alterungsbeständigem Papier nach ISO 9706-1994

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

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

Verantwortlich für den Inhalt der Beiträge sind die Autoren.

ISSN 1432-8364

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

Schriftleiter: Prof. Dr. rer. nat. Carsten Jürgens, Ruhr-Universität Bochum, Geographisches Institut, Gebäude NA 7/133, D-44780 Bochum, e-mail: carsten.juergens@rub.de und Dr.-Ing. Eckhardt Seyfert, Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg, Heinrich-Mann-Allee 107, D-14473 Potsdam, e-mail: eckhardt.seyfert@geobasis-bb.de

Erscheinungsweise: 7 Hefte pro Jahrgang.

Bezugspreis im Abonnement: € 122,- pro Jahrgang. Mitglieder der DGPF erhalten die Zeitschrift kostenlos.

Anzeigenverwaltung: Dr. E. Nägele, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Johannesstraße 3A, D-70176 Stuttgart, Tel.: 0711/351456-0; Fax: 0711/351456-99. e-mail: mail@schweizerbart.de, Internet: <http://www.schweizerbart.de>

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

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

## PFG – Jahrgang 2007, Heft 4 Inhaltsverzeichnis

---

### Originalbeiträge

WALZ, U., HOECHSTETTER, S. & THINH, N.X.: Daten und Methoden zur Analyse von dreidimensionalen Landschaftsstrukturen .....	225
SWIENTY, O., KURZ, F. & REICHENBACHER, T.: Attention Guiding Visualization in Remote Sensing IIM Systems .....	239
VOß, K. & MENZ, G.: Einsatz der Fourier Transformation zur Verbesserung der Klassifikationsgenauigkeit von teilschlagspezifischen Pflanzenschäden in Zuckerrübenflächen .....	253
MEINEL, G., REICHERT, S. & KILLISCH, W.: Entwicklung und Raumwirkung des deutschen Autobahnnetzes .....	261
REICHE, J., HESE, S. & SCHMULLIUS, C.: Objektorientierte Klassifikation terrestrischer Ölverschmutzungen mittels hoch auflösender Satellitendaten in West-Sibirien .	275

### Aus Wissenschaft und Technik

CHRISTEN, M., BARTELT, P. & GRUBER, U.: RAMMS – a Modeling System for Snow Avalanches, Debris Flows and Rockfalls based on IDL .....	289
--	-----

---

### Berichte

Hochschulnachrichten	
Universität der Bundeswehr München, Dissertation U. BACHER .....	293
Persönliches	
ROBIN LETELLIER † .....	294
Buchbesprechungen	
BENTMANN, R. & VIEBROCK, J.N. ....	295
LAKES, T. ....	297
Mitteilungen der DGPF	
e-mail-Rundschreiben des Präsidenten der DGPF .....	298
Zum Wechsel in der Schriftleitung der PFG .....	298
Vorankündigungen .....	299
Zum Titelbild .....	301
Neuerscheinungen .....	303

Zusammenfassungen der „Originalbeiträge“ und der Beiträge „Aus Wissenschaft und Technik“ (deutsch und englisch) sind auch verfügbar unter <http://www.dgpf.de/Texten/pfgvor.html>

## 7. Oldenburger 3D-Tage

Optische 3D-Messtechnik  
Photogrammetrie  
Laserscanning

**30. / 31. Januar 2008**

in Oldenburg (Oldb.)

Veranstalter:

Institut für Angewandte Photogrammetrie und  
Geoinformatik (IAPG)  
FH Oldenburg / Ostfriesland / Wilhelmshaven

Arbeitskreis Nahbereichsphotogrammetrie  
Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie,  
Fernerkundung und Geoinformation (DGPF)

**[www.fh-oow.de/3dtage](http://www.fh-oow.de/3dtage)**

**Vortragsanmeldungen  
bis 05.11.2007**

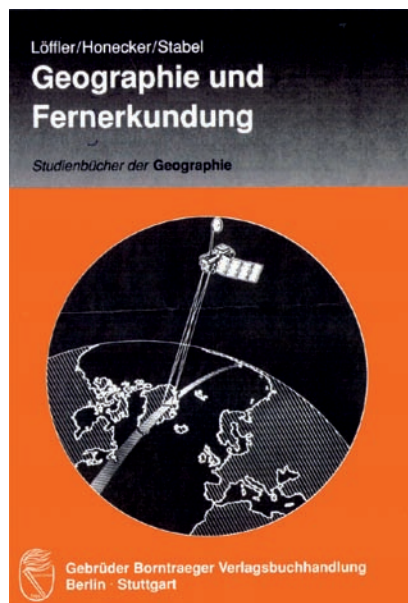
## Studienbücher der Geographie

### Geographie und Fernerkundung

von Ernst Löffler, Ulrich Honecker  
und Edith Stabel

3. vollst. überarb. u. erg. Aufl., 2005. 287 S., 105 Abb.,  
9 Tab., 16 Farbtaf., ISBN 3-443-07140-6, € 29,00

Seit dem Erscheinen der 1. Auflage dieses Buches vor 20 Jahren hat sich die Fernerkundung mit ungebrochener Dynamik weiterentwickelt. Besonders beeindruckend sind dabei ohne Zweifel die damals kaum für möglich gehaltenen Fortschritte in der Satellitentechnologie und insbesondere der digitalen Aufnahmetechnik. Gleichzeitig haben die digitale Datenverarbeitung und Bildklassifizierung, zusammen mit dem Einsatz geographischer Informationssysteme, die Möglichkeiten der Integration, Verschneidung und Repräsentation von Daten unterschiedlichster Art erheblich gesteigert. Es war daher notwendig, das Buch nicht nur zu überarbeiten und zu aktualisieren, sondern ihm auch eine etwas andere Schwerpunktsetzung zu geben. Dies gilt vor allem für die stark erweiterten Ausführungen über die digitale Bildverarbeitung und -klassifikation und die Radarkerkundung. Am Charakter des Buches als Studienbuch wurde nichts geändert; es wird Wert gelegt auf eine verständliche Darstellung, ohne Vollständigkeit anzustreben.



**Gebrüder Borntraeger · Berlin · Stuttgart**

Tel. +49 (0)711 351 456-0, [mail@schweizerbart.de](mailto:mail@schweizerbart.de), [www.schweizerbart.de](http://www.schweizerbart.de)



## Daten und Methoden zur Analyse von dreidimensionalen Landschaftsstrukturen

ULRICH WALZ, SEBASTIAN HOECHSTETTER & NGUYEN XUAN THINH, Dresden

**Keywords:** GeoInformatics, landscape structure, landscape metrics, Lidar, 3D analysis

**Abstract:** *Data and methods for the analysis of three-dimensional landscape structures.* Landscape metrics can provide valuable information about the characteristic features of a landscape section. This information can be used for the purpose of environmental monitoring as well as for issues of ecological modeling. So far, however, only two spatial dimensions are considered in this methodological framework, whereas elevation is largely ignored. Therefore, this study tries to promote the enhancement of common landscape metrics, in particular the integration of aspects of the third dimension. Adjusting the calculation routines of established 2D-metrics for the “true” surface geometries of landscape elements and the adoption of roughness parameters from the field of surface metrology prove to be promising approaches. Moreover, the focus is on high-quality digital elevation and surface models (DEM/DSM) from airborne laser scanning, which are a precondition for a meaningful 3D-analysis of landscapes.

**Zusammenfassung:** Landschaftsstrukturmaße dienen zur Quantifizierung der Ausprägung der Landschaftsgestalt für Zwecke des Monitorings, aber auch als Eingangsparameter in ökologische Modelle. Bisher findet dabei jedoch meist nur die flächenhafte (zweite) Dimension der Landschaft Berücksichtigung. In diesem Beitrag geht es um die Erweiterung von Landschaftsstrukturmaßen um Aspekte der dritten Dimension. Als viel versprechende methodische Ansätze erweisen sich dabei die Berechnung gängiger 2D-Strukturmaße mit realen Geometrien sowie der Einsatz von Parametern aus der Oberflächen-Messtechnik (Surface Metrology). Voraussetzung sind jedoch Höhen- und Oberflächenmodelle aus dem Airborne-Laserscanning, auf deren Auswertung der Fokus dieses Beitrages liegt.

---

### 1 Die dritte Dimension der Landschaftsstruktur

Die „Landschaftsstruktur“, oder anders ausgedrückt das „Muster“ oder „Mosaik“ einer Landschaft, ergibt sich nach einem in der Landschaftsökologie inzwischen weit verbreiteten Ansatz aus der Zusammensetzung und Anordnung diskreter Landschaftselemente („Patches“) (FORMAN 1995). Indizes zur Landschaftsstruktur („landscape metrics“, „Landschaftsstrukturmaße“) quantifizieren über mathemati-

sche Formeln diese räumlichen Muster. Ziel einer solchen Analyse mit Indizes ist es, die Struktur einer Landschaft auf der Basis von flächen-, form-, randlinien-, diversitäts- und topologiebeschreibenden Kennzahlen objektiv zu erfassen, zum Zwecke des Monitorings zu dokumentieren oder als Eingangsparameter für landschaftsökologische Simulationsmodelle zur Verfügung zu stellen.

Bisherige Landschaftsstrukturmaße berücksichtigen allerdings meist nur die flächenhafte (zweite) Dimension der Landschaft. Ökologisch bedeutsame dreidimen-

sionale Strukturen wie die Höhenausprägungen der einzelnen Landschaftselemente oder Höhendifferenzen zu benachbarten Patches werden bisher nicht oder kaum einbezogen, ebenso die Differenzierung der Höhenstruktur (Textur) innerhalb einer Nutzungsklasse. Darüber hinaus liefern vorhandene Landschaftsstrukturmaße insbesondere in Landschaften mit ausgeprägtem Relief ungenaue, von der Realität z.T. stark abweichende Werte, da sie nur die Fläche in ihrer zweidimensionalen Ausprägung berücksichtigen. Dabei werden nicht die realen Oberflächen und Randlängen der Landschaftselemente in die Berechnung einbezogen, sondern deren Projektion auf eine horizontale Fläche.

Die Geomorphologie als klassische Disziplin zur Untersuchung der formbildenden Prozesse der Erdoberfläche bietet zwar zahlreiche Ansätze zur Erfassung und Klassifikation des Georeliefs (z. B. DIKAU & SCHMIDT 1999, PIKE 2000, WILSON & GALLANT 2000); eine Anwendung von geomorphologischen Reliefparametern wie Kurvaturen, Exposition oder Hangneigung auf kategoriale Landschaftsmuster ist jedoch mitunter problematisch und eine Einbindung in das oben erwähnte Konzept der Beschreibung von Landschaftsmosaiken mit Strukturmaßen nicht immer möglich.

Ähnliches gilt für andere Techniken. Auf einfache methodische Herangehensweisen zur Oberflächenanalyse im Rahmen von Vegetationsuntersuchungen verweist bereits BEASOM (1983), komplexere Ansätze dazu finden sich z. B. bei DORNER et al. (2002). Einfache Moving Window-Algorithmen zur Quantifizierung der Geländeform schlagen McNAB (1992) und BLASZCZYNSKI (1997) vor. In den allgemeinen Kanon der vielfach erprobten Landschaftsstrukturmaße haben jedoch auch diese Konzepte bisher keinen Eingang gefunden.

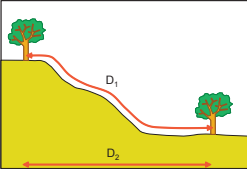
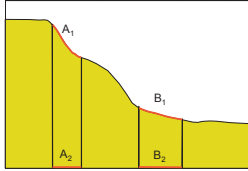
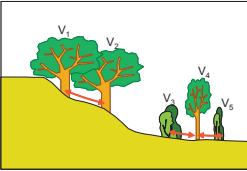
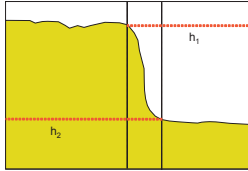
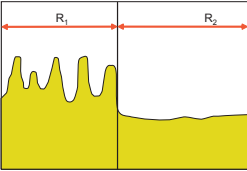
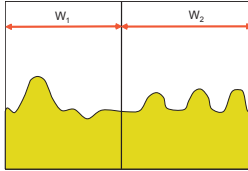
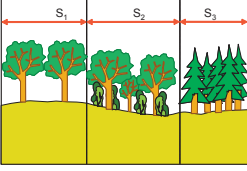
In einer von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) finanzierten Untersuchung wird daher der Frage nachgegangen, wie die dritte Dimension durch geeignete Maßzahlen und Methoden in der Landschaftsstrukturanalyse berücksichtigt werden kann. In diesem Beitrag stehen die Ana-

lyse von digitalen Gelände- und Oberflächenmodellen und die methodische Herangehensweise zur Integration der dritten Dimension in Landschaftsstrukturmaße im Mittelpunkt.

Folgende Situationen sind denkbar, in denen die Integration von 3D-Aspekten in die Strukturanalyse als sinnvoll erscheint (s.a. Abb. 1):

- Berechnung der „realen“ Flächen und Umfänge von Landschaftselementen bzw. Distanzen zwischen Objekten auf der Grundlage von Digitalen Höhenmodellen (DHM);
- Berücksichtigung von Oberflächen (einschl. Vegetation, Gebäude, ..) auf der Grundlage von Digitalen Oberflächenmodellen (DOM), z. B. aus Airborne-Laserscanning-Daten;
- Höhendifferenzen zwischen den einzelnen Landschaftselementen;
- Höhenstrukturen innerhalb der Nutzungsklassen bzw. einzelnen Patches (Struktur der Kontraste, z. B. über Texturfilter auf Grundlage des DOM).

Beispiele für die Anwendung solcher 3D-Landschaftsstrukturmaße in der Landschaftsökologie können Methoden der Landschaftsbewertung für die Raumplanung, die Habitatmodellierung oder die Untersuchung funktionaler Aspekte von Forstbeständen in Abhängigkeit von ihrer Oberflächenstruktur sein. So haben bereits zahlreiche Studien gezeigt, dass die topographischen Eigenschaften und Oberflächencharakteristika eines Landschaftsraumes für viele ökologische Funktionen einen zentralen Faktor darstellen. Bei SWANSON et al. (1988) sind beispielsweise die unterschiedlichen Auswirkungen von Oberflächenformen auf Boden- und Lufttemperatur, Bodenfeuchte, Stoff- und Energieströme sowie Organismen beschrieben. OKE (1978) betont vor allem die Bedeutung der Geländeform auf Mikro- und Mesoklima und stellt die Effekte der Oberflächenrauigkeit auf Luftbewegung und Windgeschwindigkeit dar. BAILEY (2004) verweist auf die Rolle des Reliefs bei der physischen Differenzierung von Ökosystemen. Auch der große Einfluss des

 <p><i>Methode:</i> Berechnung realer Distanzen</p> <p><i>Anwendung:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Habitatmodelle</li> <li>▪ Biotopverbund</li> </ul> <p><b>a) Objekte in Hanglage</b></p>	 <p><i>Methode:</i> Berechnung realer Flächen und Umfänge</p> <p><i>Anwendung:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Habitatmodelle</li> <li>▪ Biotopverbund</li> <li>▪ Charakterisierung Landschaftsstruktur allg.</li> </ul> <p><b>b) Flächen in Hanglage</b></p>
 <p><i>Methode:</i> Objektvolumen, relative Lage im Raum</p> <p><i>Anwendung:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Grünvolumen</li> <li>▪ Charakterisierung Landschaftsstruktur allg.</li> <li>▪ Siedlungsstrukturen</li> </ul> <p><b>c) Einzelobjekte</b></p>	 <p><i>Methode:</i> Quantifizierung von Höhengradienten</p> <p><i>Anwendung:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Barriere-/Isolationswirkung,</li> <li>▪ Lebensraumgrenzen</li> <li>▪ Stepstone-Strukturen, Habitatmodelle</li> <li>▪ Landschaftsstrukturanalyse (z.B. für contrast metrics)</li> </ul> <p><b>d) Höhenunterschiede</b></p>
 <p><i>Methode:</i> Quantifizierung der Oberflächenrauigkeit</p> <p><i>Anwendung:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kaltluft-/Wasserabfluss</li> <li>▪ Schadstoffausfällung</li> <li>▪ Landschaftsästhetik/-diversität</li> <li>▪ Erosionsmodelle</li> <li>▪ Habitatmodelle</li> </ul> <p><b>e) Oberflächenstruktur</b></p>	 <p><i>Methode:</i> Identifizierung wiederkehrender Reliefmuster, 3D-Texturen</p> <p><i>Anwendung:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Erosion</li> <li>▪ Kaltluft-/Wasserabfluss</li> <li>▪ Lebensraumstrukturen, Wanderrouten (Zoologie)</li> </ul> <p><b>f) Reliefmuster</b></p>
 <p><i>Methode:</i> Quantifizierung Bestandesstruktur (z.B. von Wäldern)</p> <p><i>Anwendung:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bewirtschaftungsgeschichte</li> <li>▪ Biodiversität</li> </ul> <p><b>g) Innere Struktur</b></p>	

**Abb. 1:** Situationen, die die Integration von 3D-Aspekten in die Landschaftsstrukturanalyse erfordern.

Geländes auf die Ausbildung von Vegetationsgradienten war bereits Gegenstand vieler Untersuchungen (z. B. SEBASTIÁ 2004). Eine Zusammenfassung der vielfältigen Aspekte des Zusammenhangs zwischen topographischen Eigenschaften und weiteren Landschaftsfunktionen findet sich z. B. bei FLORINSKY (1998).

Die Anwendung von herkömmlichen 2D-Landschaftsstrukturmaßen mit realen Oberflächen und von Oberflächenindizes kann beispielsweise für Habitatmodelle und Bewertungsfragen im Falle von Biotopverbundsystemen relevant sein.

## 2 Höheninformationen zu Oberfläche und Topographie

Die Gewinnung von Relief- und Oberflächeninformationen für Auswertungen im Landschaftsmaßstab ist nur durch fernerkundungsgestützte Verfahren rationell möglich. In diesem Bereich konnten in den vergangenen Jahren enorme technische Fortschritte erzielt werden. Mittlerweile stehen insbesondere in Deutschland nahezu flächendeckend digitale Geländedaten in hoher geometrischer Auflösung zur Verfügung. Als Quellen entsprechender Höheninformationen kommen in Frage:

- *Amtliche Höhendaten*, meist in einer räumlichen Auflösung von 20 Meter. Diese Daten haben den Vorteil einer flächendeckenden Verfügbarkeit. Dem stehen die Nachteile einer relativ geringen horizontalen und vertikalen Auflösung gegenüber. Eine Wiederholbarkeit ist meist nur innerhalb sehr langer Zeiträume (mehrere Jahre) gegeben. Informationen zur Vegetation und zu Gebäuden können diesen Daten nicht entnommen werden.
- *Höhendaten aus flugzeuggestützten Laser-Aufnahmen (Lidar)*. Aus der Laufzeit der Signale und der Lichtgeschwindigkeit wird die Entfernung zum Ort der Streuung berechnet. Durch die Auswertung von First- und Last-Pulse Daten wird es möglich, Gelände und Oberflächenmodelle abzuleiten. Daten aus dem Airborne Laserscanning (ALS) stehen mittlerweile

für viele Bereiche Deutschlands zur Verfügung. So wurde beispielsweise Baden-Württemberg komplett befliegen. In anderen Bundesländern wird die Abdeckung sukzessive erweitert, da solche Daten die Grundlage für die Ableitung des DGM5 der Landesvermessungsämter sind. Trotzdem sind als Nachteile die weiterhin nicht flächendeckende Verfügbarkeit, die unterschiedlichen Aufnahmezeitpunkte der einzelnen Befliegungen und die unterschiedliche Qualität der Aufnahmen anzuführen. Eine multitemporale Auswertung ist nur in den seltensten Fällen durchführbar.

- *Radardaten aus Satellitenaufnahmen*. Ab Mitte des Jahres 2007 werden voraussichtlich hoch auflösende Höhendaten aus dem europäischen Raumfahrtprogramm zur Verfügung stehen. Bisherige Satelliten wie ERS-1/2 SAR, JERS-1, Radarsat oder Envisat lieferten eine geometrische Auflösung von 18–100 Metern. Der Radar-Satellit TerraSAR-X wird Höhendaten mit einer räumlichen Auflösung von bis zu einem Meter liefern. Damit wird der Anwendungsbereich des Airborne Laserscanning (ALS) erreicht. Der wesentliche Vorteil der satellitengestützten Erhebung liegt in der Möglichkeit, auch zeitliche Veränderungen zu erfassen, da der Satellit multitemporale Aufnahmen mit einer Wiederholrate von 2–4 Tagen gestattet. Wenn auch eine solch hohe Aufnahmefrequenz für Auswertungen auf Ebene der Landschaft kaum relevant ist, so können dennoch Vergleiche zwischen Vegetationsperiode und Nicht-Vegetationsperiode interessante neue Aspekte eröffnen. Bisher waren solche Vergleiche kaum möglich, da solche Aufnahmen meist für die Erfassung der Geländeoberfläche konzipiert werden und daher laubfreie Vegetation als günstig erachtet wird. Daher werden ALS-Szenen in der Regel aus singulären Aufnahmen gewonnen, die außerdem meist außerhalb der Vegetationsperiode durchgeführt werden.

Trotz der guten Verfügbarkeit kann festgestellt werden, dass die Möglichkeiten sol-

cher Daten in der ökologischen Forschung bislang nur unzureichend genutzt werden. Ein Grund hierfür kann in der schwierigen methodischen Beherrschbarkeit dieser sehr großen Datensätze und dem hohen Informationsgehalt gesehen werden. Wir untersuchten daher die Anwendbarkeit verschiedener Datengrundlagen vor dem Hintergrund der entwickelten Methodik für die 3D-/4D-Landschaftsstrukturanalyse.

### 3 Testgebiete und Datengrundlagen

Als Testgebiete sollten Landschaften in suburbanen Räumen mit jeweils ausgeprägtem Relief, aber unterschiedlichen naturräumlichen Voraussetzungen dienen. Aufgrund der unterschiedlichen Entwicklungsverläufe der Landnutzung in Ost- und Westdeutschland wurden ein Untersuchungsraum in Sachsen (Nationalparkregion Sächsische Schweiz) und ein weiterer in Südwestdeutschland (Schwäbische Alb) ausgewählt. In beiden Regionen wurden jeweils 25 km<sup>2</sup> große Testgebiete abgegrenzt (Abb. 2).

Die Testfläche Bad Urach ist durch sehr starke Reliefunterschiede im Bereich des Albtraufs sowie eine Nutzungsmischung aus Wäldern im (Steil-)Hangbereich, großflächige Streuobstwiesen im Unterhangbereich, Siedlungen und Suburbansierungsprozesse im Talraum und Ackerflächen auf

der Hochfläche gekennzeichnet. Im Bereich der Sächsischen Schweiz, die durch zumeist landwirtschaftlich genutzte Ebenheiten, überwiegend bewaldete Sandsteinfelsgebiete – durchzogen von Schluchten, Tafelbergen und schroffen Felswänden – sowie das Elbtal geprägt ist, wurden zwei unterschiedlich strukturierte Testflächen ausgewählt: Die Testfläche Rosenthal, die vergleichsweise geringe Reliefunterschiede aufweist und neben einem geringen Anteil Ackerflächen hauptsächlich waldbestanden ist. Die Testfläche Rathen umfasst dagegen mit einem Ausschnitt des Elbtals und den angrenzenden Hang- und Felsbereichen ein stark bewegtes Relief, wenn auch die absoluten Höhenunterschiede mit ca. 120 m geringer als in Bad Urach ausfallen. Die Nutzung setzt sich aus Acker- und Grünlandflächen, Wald- und Fels- sowie Siedlungsbereichen zusammen.

#### Datengrundlagen in den Testgebieten

Um die entwickelten Methoden und Indizes auf ihre Eigenschaften und ihre Sensitivität hin überprüfen zu können, wurde ein Set verschiedener realer und künstlich generierter Höhenmodelle zusammengestellt, durch die sich eine Bandbreite an 3D-Situationen abbilden lässt. Als reale Höhenmodelle dienten dazu Ausschnitte aus unterschied-

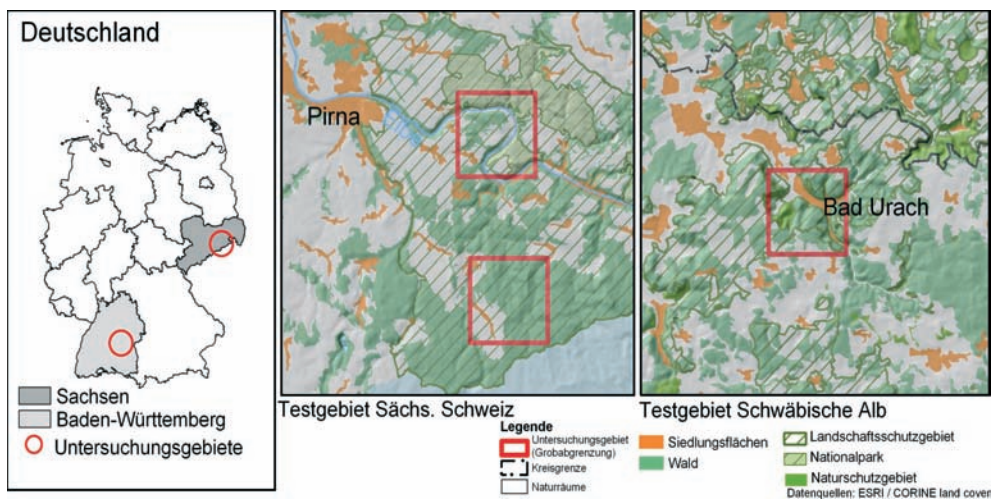
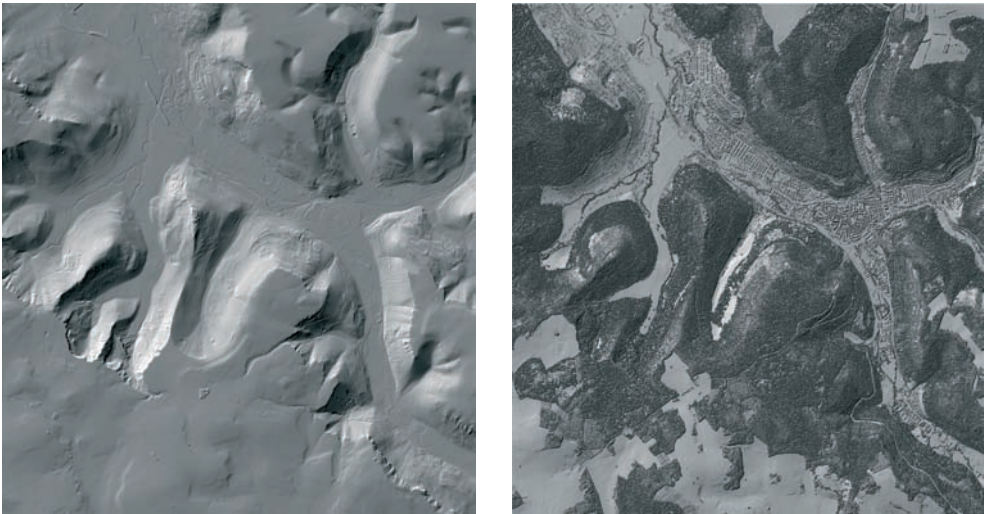


Abb. 2: Lage der Testgebiete.





**Abb. 3:** Gelände- und Oberflächenmodell für das Testgebiet Bad Urach aus Airborne Laserscanning-Daten.

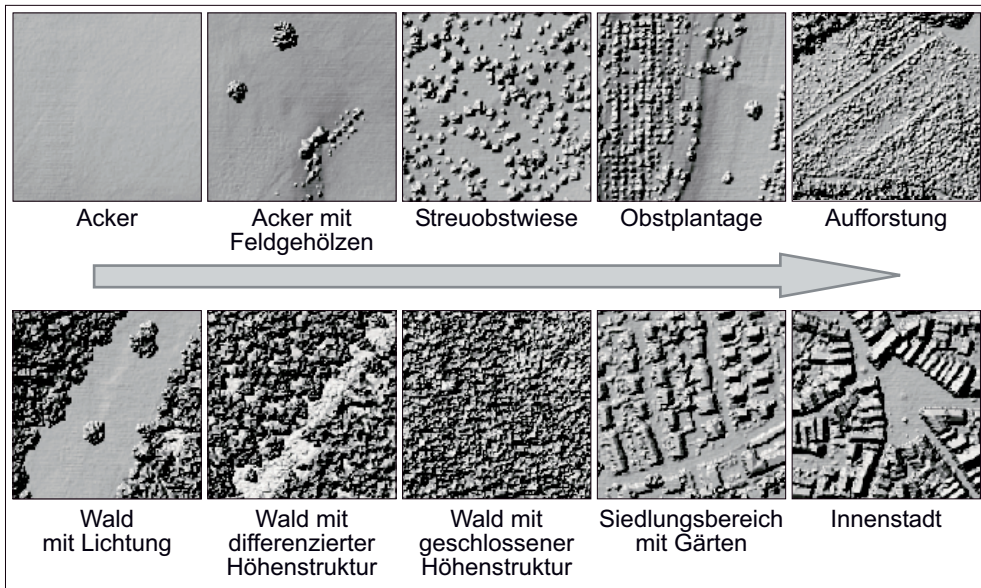
lich stark reliefierten Bereichen Digitaler Gelände- und Oberflächenmodelle aus dem Airborne Laserscanning sowie dem amtlichen Digitalen Geländemodell (*DGM20*) der Landesvermessungsämter. Für die Sächsische Schweiz stammen die Laserscanner-Daten aus einer Befliegung mit dem Sensorsystem *Falcon* der Firma Toposys im April 2005. Dabei wurden optische Bilddaten und Lasermessungen simultan erfasst (TROMMLER & CSAPLOVICS 2006). Im Bereich Bad Urach konnten vom Landesvermessungsamt Baden-Württemberg Aufnahmen mit dem Laserscanner ALTM 1225 der Firma Optech vom Februar 2002 bezogen werden. Aufgenommen wurden jeweils First- und Last-Pulse-Daten. Die Punktdichten lagen dabei in der Sächsischen Schweiz bei 6 Punkten pro  $m^2$ , während für die Aufnahme im Testgebiet Urach vom Landesvermessungsamt Baden-Württemberg ein mittlerer Punktabstand von 1,5 m angegeben wird.

Im Gegensatz zu Auswertungen beispielsweise von BLASCHKE et al. (2004), die für die Ableitung von Informationen zu dreidimensionalen Vegetationsstrukturen direkt die First- und Last-Pulse-Daten verwendeten, wurden von uns zunächst Gelände- und Oberflächenmodelle auf Rasterbasis erstellt (vgl. Abb. 3). Durch die TU Dresden (Insti-

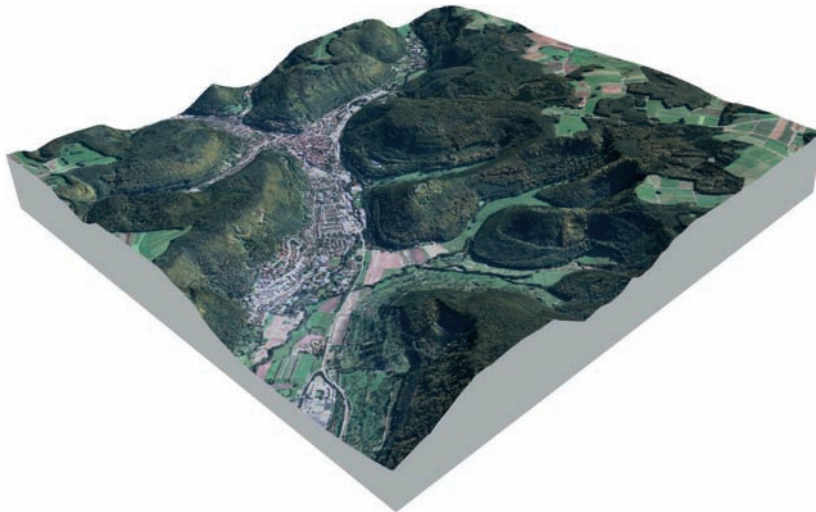
tut für Photogrammetrie und Fernerkundung), wurden die Rohdaten mit der Software SCOPE aufbereitet. Zum Vergleich wurde für Bad Urach zusätzlich am Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung eine Triangulation der Punktdaten zu einem Höhenmodell durchgeführt.

Das abgeleitete Oberflächenmodell lässt unterschiedliche Dichtestrukturen erkennen (Abb. 4). Es sind sowohl einzelne Gehölz- und Baumstrukturen, lockere Baumwiesen in wahlloser (Streuobstwiese) und reihenweiser Anordnung (Obstplantage) ableitbar. Auch Waldbereiche lassen sich bereits visuell in Wälder mit geschlossener oder differenzierter Höhenstruktur unterteilen, Aufforstungen und Lichtungen sind erkennbar. Eine weitere Gruppe bilden die Siedlungsbereiche, in denen sich ebenfalls unterschiedliche Dichtegrade feststellen lassen.

Für die beiden Untersuchungsgebiete stehen weitere Bild- und Kartendatensätze zur Verfügung, die zur nachfolgenden Bearbeitung in eine homogene und einheitliche GIS-Datenbasis überführt wurden. Dazu gehören aktuelle Daten zur Flächennutzung aus dem Amtlich-Topographischen Informationssystem (ATKIS), Bilddaten für das Untersuchungsgebiet „Sächsische Schweiz“, Ortholufbilder aus dem Jahr



**Abb. 4:** Höhen und Dichtestrukturen unterschiedlicher Lebensräume.



**Abb. 5:** 3D-Landschaftsmodell für Bad Urach, generiert aus Airborne-Laserscanner-Daten und einer Quickbird-Satellitenaufnahme.

1997, eine IKONOS-Satellitenbild-Szene aus dem Jahr 2001 und eine digitale, multispektrale Aufnahme der flugzeuggestützten Kamera *Falcon* aus dem Jahr 2005, sowie für das Gebiet Bad Urach eine Quickbird-Satelliten-Aufnahme vom 12. 10. 2006. Zur Visualisierung der Geländeeigenschaf-

ten konnten damit 3D-Landschaftsmodelle erstellt werden (Abb. 5).

Zum Test der entwickelten Methoden wurden weiterhin bestimmte Reliefsituationen künstlich nachgestellt und simuliert; z. B. wurden dreidimensionale Wellen unterschiedlicher Frequenz generiert. So ließen

sich Reaktionen der zu entwickelnden Analysemethoden auf eine bestimmte Abfolge von „Rücken“ und „Tälern“ untersuchen. Durch Kombination verschiedener trigonometrischer Funktionen konnten außerdem „Dome“ bzw. „Kuppeln“ erzeugt werden, die sich z. B. als Verkörperung von Forstbeständen variierender Dichte nutzen ließen (HOECHSTETTER et al. 2006).

Darüber hinaus kamen Rasteroberflächen unterschiedlicher fraktaler Dimension beim Methodentest zur Anwendung. Solche Oberflächen können als Repräsentation von Reliefs unterschiedlicher Rauigkeit aufgefasst werden. Zur Erzeugung fraktaler Oberflächen wurde das frei verfügbare Geo-Informationssystem Landserf (WOOD 2005) verwendet.

#### 4 Methoden und GIS-Werkzeuge

Für eine adäquate Bearbeitung der beschriebenen Fragestellung ist eine Erweiterung des gebräuchlichen GIS-Instrumentariums notwendig. Die in Geo-Informationssystemen wie dem weit verbreiteten ArcGIS von ESRI (ESRI 2005) implementierten Standard-Werkzeuge erwiesen sich nur zum Teil praktikabel für eine Umsetzung der notwendigen Methoden. Zu diesem Zweck wurde die in ArcGIS eingebettete Entwicklungsumgebung für VBA (Visual Basic for Applications) und Python-Skripte genutzt. Als flexibles und vielseitiges Werkzeug gerade zur Analyse von digitalen Geländemodellen hat sich jedoch das Programmpaket Matlab (MathWorks 2005) erwiesen. Die speziell auf Matrixoperationen zugeschnittenen Funktionen und der modulare Programmaufbau erlauben eine Umsetzung vergleichsweise komplexer Methoden. Als Nachteil des Programmpakets ist die lange Rechenzeit bei großen Datensätzen zu nennen.

##### 4.1 2D-Strukturmaße mit realen Geometrien

Viele gängige Landschaftsstrukturmaße basieren auf den Werten der Flächengrößen und Umfänge der einzelnen Patches (z. B.

Form-Index (SHI), Größte Fläche (LPI, Gesamtfläche (TA)) oder auf räumlichen Distanzen (z. B. Nachbarschaftsmaße wie Proximity (PROX)). In gängigen GIS-Verfahren werden die räumlichen Daten auf eine planimetrische Bezugsfläche projiziert und auf dieser Basis die Werte für Flächen und Distanzen abgeleitet (Abb. 1b). Für einen gleichmäßig geneigten Hang mit einer tatsächlichen Hanglänge von 100 m und einem Neigungswinkel von  $10^\circ$  ergibt sich bei einer Breite der Fläche von ebenfalls 100 m eine planimetrische Fläche von 0,985 ha und eine Hanglänge von 98,5 m. Für einen solchen Hang mit einer Neigung von  $30^\circ$  ist der Unterschied schon deutlich größer: Die projizierte Fläche beträgt nur noch 8,6 ha bzw. die Hanglänge 0,866 m. Mit zunehmender Hangneigung werden die tatsächlichen Flächen und Distanzen unterschätzt. Insbesondere in stark reliefiertem Gelände handelt es sich also keinesfalls um einen vernachlässigbaren Unterschied. Bei der Anwendung solcher Maße beispielsweise für Artverbreitungsanalysen, Habitatmodelle oder die Untersuchung eines Biotopverbundes kann dies von erheblicher Bedeutung sein.

In einem ersten Schritt wurden daher Methoden und Werkzeuge für gebräuchliche Geo-Informationssysteme entwickelt, die automatisch die realen Umfänge und Flächeninhalte von Vektordaten auf der Basis eines Höhenmodells berechnen. Zur Berechnung der realen Fläche eines Polygons, beispielsweise einer Nutzungseinheit, aus den Rasterdaten des Höhenmodells bestehen mehrere Möglichkeiten:

- Die Berechnung aus der Hangneigung, die zuvor mittels Moving-Window-Technologie auf der Basis des Raster-Höhenmodells berechnet wurde. Die reale Oberfläche einer Rasterzelle lässt sich mit Hilfe des Kehrwerts des Cosinus der Hangneigung ableiten.
- JENNESS (2004) schlägt eine kompliziertere, aber exaktere Methode vor, die ebenfalls auf einem Moving-Window-Ansatz beruht. Dabei werden in einer  $3 \times 3$ -Nachbarschaft aus den diagonalen und ortho-



gonalen Zellnachbarn 8 Dreiecke jeweils aus den Höhenwerten der Zellmittelpunkte gebildet. Zur Berechnung der realen Oberfläche der mittleren Zelle des Analysefensters müssen die jeweiligen Anteile der 8 Dreiecke summiert werden.

- Die Berechnung aus einem TIN (Triangulated Irregular Network) (ESRI 2005).

Die Ableitung der realen Oberflächenwerte dient nicht nur als Basis für die Analyse mit konventionellen 2D-Landschaftsstrukturmaßen, es können darüber hinaus neue Indizes gebildet werden. So bezeichnet NOGAMI (1995) den dimensionslosen Quotienten aus realer und projizierter Fläche als einen Indikator für die generelle „Steilheit“ des Geländes.

Die Aussage und Relevanz sowohl der Anwendung von 2D-Landschaftsstrukturmaßen mit realen Oberflächen als auch von Oberflächenindizes, wie die des von NOGAMI vorgeschlagenen in landschaftsökologischen Modellen, sind noch zu überprüfen.

#### 4.2 Methoden der Oberflächen-Messtechnik

In Materialwissenschaften und Molekularphysik kommen Methoden zur Messung der Eigenschaften und Muster von Oberflächenstrukturen im Nano-Bereich zum Einsatz (engl. „Surface Metrology“). Mithilfe dieser Parameter lassen sich in numerischer Form Aussagen über die „Qualität“ von Oberflächen treffen. So können beispielsweise Abschätzungen über die „Rauigkeit“ oder die Heterogenität einer Höhenwerteverteilung erfolgen. Auf diese Weise können z. B. durch Fehler im Herstellungsprozess von optischen Linsen hervorgerufene Abweichungen der tatsächlichen Oberfläche von der ursprünglich vorgesehenen beschrieben werden (BENGTSSON 1991).

Eine Übertragung dieses Konzepts auf die Landschaftsebene wurde bereits von MCGARIGAL & CUSHMAN (2005) vorgeschlagen, da sich durch einen Transfer dieser Indizes auf andere Maßstabebenen auch Landschaftsausschnitte auf ihre Oberflächen- und Reliefeigenschaften hin unter-

sucht werden können (Precision Devices 1998, SROUT et al. 1993). Die Surface Metrology-Indizes bieten die Möglichkeit, die im Höhen- oder Oberflächenmodell eines Landschaftsausschnittes enthaltene Information in hoch aggregierter Form als Zahlenwert anzugeben. Das kann für bestimmte Anwendungen von großem Nutzen sein, wie z. B. Betrachtungen zur Erosionsanfälligkeit von landwirtschaftlichen Flächen oder die Implementierung der Oberflächenrauigkeit als Parameter in die Habitat- oder Diversitätsmodellierung.

Zur Bereitstellung hoch aggregierter numerischer Information über die Oberflächenstruktur von Landschaftselementen wurden die folgenden Surface Metrology-Indizes als Matlab-Skripte (MathWorks 2005) implementiert und auf Landschaftsausschnitte angewendet:

- *Average Surface Roughness (Ra)* („Mittlere Rauigkeit“): Berechnet die mittlere absolute Abweichung der Höhenwerte von der Mittelwertsebene.
- *Root-Mean-Square Deviation of the Surface (Sq)* („Mittlere quadratische Abweichung der Oberfläche“): Modifizierung von Ra. Berechnet die mittlere quadratische Abweichung der Höhenwerte von der Mittelwertsebene.
- *Tenpoint-Height of Surface (Sz)* („Höhe von zehn Extrempunkten der Oberfläche“): Mittelwert der absoluten Höhen der fünf höchsten „Gipfel“ und der fünf tiefsten „Täler“.
- *Density of Summits (Sds)* („Dichte der Gipfel“): Anzahl der Gipfel pro Fläche; als Gipfel werden lokale Maxima des Höhenmodells definiert.
- *Skewness of Topography Height Distribution (Ssk)* („Schiefe der Höhenwerteverteilung“): Maß für die Asymmetrie der Oberflächenabweichungen von der Mittelwertsebene. Gauß-Verteilungen der Höhenwerte resultieren im Wert 0.
- *Kurtosis of Topography Height Distribution (Sku)* („Kurtosis der Höhenwerteverteilung“): Charakterisiert die Streubreite der Höhenwerteverteilung. Gauß-Verteilungen besitzen einen Sku-Wert von 3.

Allerdings sind mit solchen aggregierten Maßzahlen auch Probleme verbunden. So sind aus einem Index wie der Average Surface Roughness zwar Informationen über die Intensität und die Ausprägung von Höhenwertabweichungen bzw. über die Heterogenität des Reliefs zu entnehmen; wie diese Abweichungen innerhalb einer Landschaftseinheit räumlich verteilt sind, lässt sich aus dem bloßen Indexwert jedoch nicht ablesen. Darüber hinaus resultieren komplementäre Oberflächenformen (Mulde/Kuppe) für diesen Index in identischen Zahlenwerten. Für komplexere ökologische Fragestellungen wird also eine Kombination mehrerer Surface Metrology-Parameter bzw. eine Anpassung einzelner Berechnungsvorschriften als sinnvoll erachtet.

## 5 Ergebnisse aus den Fallstudien

### 5.1 Landschaftsstrukturmaße mit realen Geometrien

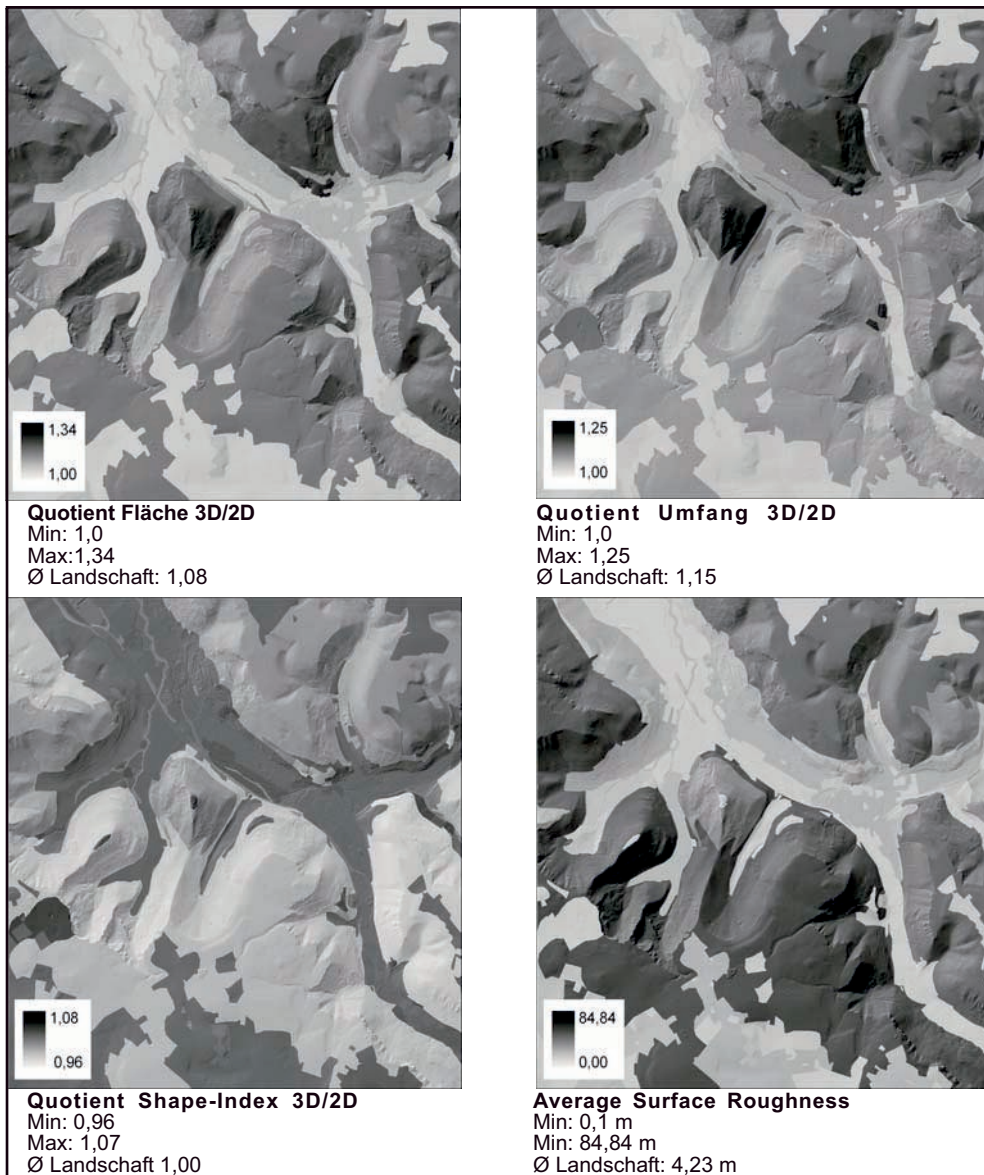
Bei der Berechnung gängiger Strukturmaße mit realen Oberflächengeometrien stand besonders die Frage im Vordergrund, inwiefern diese um die Höheninformation korrigierten Maße von planimetrisch ermittelten („2D“-)Strukturindizes abweichen und somit eine messbare Verbesserung darstellen. Dieser Vergleich zwischen 2D- und 3D-Berechnungsansatz wurde für reale Landschaftsausschnitte der Testgebiete unter Verwendung von ATKIS-Landnutzungsdaten und Höhenmodellen unterschiedlicher Auflösung sowie einige Kombinationen aus simulierten Höhenmodellen und Landschaftsmosaiken durchgeführt.

Besonders für Flächenmaße (Patch Area, Landscape Area) ergaben sich dabei zum Teil deutliche Abweichungen. Für einzelne Landschaftselemente in den Hangbereichen des Elbtales in der Sächsischen Schweiz weist die Oberfläche für den dreidimensionalen Berechnungsfall um bis zu 60% größere Werte auf. Ähnliches gilt für die Umfänge der Patches. Im Bereich der Bad Urach liegen die Abweichung bei maximal 25% (Umfang) bzw. 34% (Fläche) (s. Abb. 6). Die Unterschiede zeigten sich

dabei in stärkerem Maße für die geometrisch hochaufgelösten Laserscanning-Höhenmodelle, die ein hohes Maß an Information über die Relief-Variabilität innerhalb der Landschaftselemente bereitstellen.

Auch für die Formindizes ergaben sich messbare Differenzen zwischen den beiden Berechnungsmodellen. Da diese Strukturmaße allerdings sowohl von den Umfängen als auch den Flächeninhalten der Patches abhängen, ergibt sich kein eindeutiger Trend. Zum Beispiel lagen die 3D-Shape-Indizes für die Sächsische Schweiz im Fall des verwendeten Laserscanning-Höhenmodells in einem Bereich von etwa  $\pm 10\%$  im Vergleich zu den entsprechenden 2D-Indizes, in Bad Urach sogar nur bei 8%. Auf die Gesamtlandschaft bezogen mitteln sich die Unterschiede auf 1,0 (Abb. 6). Der Shape-Index gibt das Verhältnis des tatsächlichen Umfangs eines Landschaftselements zum Umfang eines Quadrates gleicher Fläche an. Bei Einbeziehung der dritten Dimension können sich Umfang und Fläche in unterschiedlichem Maße gegenüber den 2D-Geometrien verändern. Dadurch erklären sich die sowohl positiven als auch negativen Änderungen im Vergleich zum 2D-Shape-Index.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Berechnung von Landschaftsstrukturmaßen auf der Basis realer Geometrien besonders in stark reliefiertem Gelände und für geometrisch hoch aufgelöste Datengrundlagen zu teilweise deutlich abweichenden Index-Werten für die einzelnen Landschaftselemente im Vergleich zum planimetrischen Fall führt. Dies lässt den Schluss zu, dass die Berücksichtigung des Reliefs in solchen Fällen verbesserte Analyseergebnisse der Landschaftsstruktur ermöglicht und für die Verbesserung ökologischer Modelle eine hohe Relevanz besitzt. Dies gilt besonders für organismenzentrierte Untersuchungen im Bereich der Habitatmodellierung oder bei Betrachtungen zum Biotopverbund. Für Untersuchungen, die sich nur auf einen Landschaftsausschnitt als Ganzes beziehen und Mittelwerte verwenden, ist der Einfluss dagegen in vielen Fällen sicher vernachlässigbar.



**Abb. 6:** Ergebnisse der Berechnung von Indizes auf Basis realer Flächen und Umfänge (Berechnungsgrundlage: Laserscanner-DTM mit einer Auflösung von 2,5 m).

## 5.2 Indizes der Oberflächen-Messtechnik

Die beschriebenen Indizes aus dem Bereich der Oberflächen-Messtechnik wurden in entsprechender Weise auf reale und künst-

liche Landschaftsausschnitte angewendet und auf ihre Aussagekraft hin untersucht.

Besonders das Rauigkeitsmaß „Average Surface Roughness“ erwies sich dabei als gut geeignete Möglichkeit zur Quantifizierung der Relief-Variabilität innerhalb ein-

zelter Landschaftselemente (Abb. 6). Für das Untersuchungsgebiet Bad Urach ergibt sich eine differenzierte Wertespanne von 0,1–84,8 m. Im Ergebnis heben sich unterschiedlich strukturierte Landschaftsbereiche wie Streuobstwiesen, Wälder, Siedlungen u.ä. deutlich voneinander ab.

Dieser Parameter eröffnet das Potenzial, stark kondensierte Information in numerischer Form über die Rauigkeit von Patches bereitzustellen. Diese Information kann wiederum eine Ergänzung von Landschaftsstrukturanalysen darstellen, da sie eine Charakterisierung von Landschaftsmosaiken hinsichtlich der Bewegtheit des zugrunde liegenden Geländes erlaubt.

Die Untersuchungen in realen und simulierten Landschaften wiesen darauf hin, dass sich durch Anwendung der Surface Metrology-Indizes steile und „raue“ Geländebereiche gut von eher flachen und „glatten“ Elementen unterscheiden lassen. Diese Index-Gruppe stellt daher einen aussagekräftigen und zugleich einfachen Ansatz zur Erweiterung des bestehenden Kanons an Landschaftsstrukturmaßen um die dritte Dimension dar (vgl. HOECHSTETTER et al. 2006, HOECHSTETTER & WALZ 2006).

## 6 Ausblick

Die bisherigen Recherchen, Untersuchungen und methodischen Ansätze haben gezeigt, dass ein hoher Bedarf an der Weiterentwicklung von Landschaftsstrukturmaßen unter Einbeziehung der dritten Dimension besteht. Gerade im Bereich der ökologisch orientierten Planung werden Modelle und Indikatoren benötigt, die valide Aussagen zum Zustand und der Veränderung von Ökosystemen durch anthropogen verursachte Eingriffe liefern können. Der Struktur der Landnutzung kommt dabei eine Schlüsselposition zu. Dabei ist bekannt, dass die dritte Dimension im Sinne von Höhenstrukturen der Oberfläche und des Reliefs bei der Analyse und Charakterisierung funktional-ökosystemarer Zusammenhänge wesentlich sein kann. Umso erstaunlicher ist es, dass bisher kaum Anstrengungen unternommen wurden, Landschaftsstruktur-

maße um die dritte Dimension zu erweitern. Gründe dafür liegen sicherlich zum einen in der bisher mangelnden Verfügbarkeit von entsprechenden (genauen) Daten und zum anderen auch an der nach wie vor geringen Verbreitung von entsprechenden GIS-Werkzeugen in gängigen Software-Programmen. In der theoretischen und methodischen Weiterentwicklung der Thematik 3D-Landschaftsindizes dürfte vor diesem Hintergrund ein erhebliches Innovationspotenzial liegen. Im Datenbereich stehen mit den aus Airborne Laserscanning-Daten gewonnenen Höhenmodellen und zukünftig auch mit den TerraSAR-X-Daten notwendige Informationen zur Oberfläche und ihrer Struktur zur Verfügung. Die Entwicklung geeigneter Methoden und Werkzeuge zur Anwendung entsprechender 3D-Indizes sowie die Überprüfung deren Aussagekraft ist damit ein wichtiges Ziel der Forschungen.

Wie die bisherigen Arbeiten dokumentiert haben, kann dabei durchaus auf bekannte und angewandte Methoden aufgebaut werden, die damit eine Grundlage für die 3D-Landschaftsstrukturanalyse bieten. Es konnte gezeigt werden, dass sich mit den entwickelten Parametern Verbesserungen im Vergleich zu bisherigen Untersuchungen erzielen lassen. Alleine die Berücksichtigung der „realen“ Oberfläche kann in Situationen mit ausgeprägtem Relief zu stark abweichenden Werten der Landschaftsstrukturmaße gegenüber den Berechnungsmethoden ohne Berücksichtigung der tatsächlichen Geometrien führen. Aber auch die Berücksichtigung der Oberflächenstrukturen (z. B. Gehölze, Waldoberfläche u. a.) beispielsweise mittels Surface Metrology-Indizes zeigt erhebliches Anwendungspotenzial.

Gerade hier werden für die Fortsetzung der Forschungsarbeiten methodische Anknüpfungspunkte gesehen. So konnte die Untersuchung der Einsatzmöglichkeiten von Wavelet-Analysen für die Fragestellung bisher nur angearbeitet werden. Die Wavelet-Analyse zeichnet sich jedoch bereits jetzt als ein mächtiges Werkzeug zur Analyse von Sprungstellen in Höhendaten ab, beispielsweise zur Auffindung bestimmter Strukturen wie linienförmigen Erhebungen (Säu-



me). Weitere Ansatzpunkte für methodische Forschungsarbeiten sind die Texturanalyse (z. B. mittels Fourier-Transformation, vgl. COUTERON et al. 2006) und Morphologische Moving-Window-Algorithmen. Letztere sind im Rahmen des Forschungsprojektes bereits als Matlab-Script und ArcGIS-Tool implementiert worden. Eine vertiefende Überprüfung der Aussagekraft und Verknüpfung mit anderen Methoden steht jedoch noch aus. So wäre beispielsweise eine Kombination von Moving-Window-Maßen wie z. B. dem Landform Index (LFI) (McNAB 1992) und klassischer Lakunaritätsanalyse zur Analyse des Musters von „Gipfeln“ und „Senken“ in einem Höhenmodell denkbar.

Es besteht jedoch noch erheblicher Forschungsbedarf zur Stabilität der einzelnen methodischen Ansätze in unterschiedlichen räumlichen Situationen. Zur Überprüfung der Anwendbarkeit für konkrete ökologische Fragestellungen und der Validität der jeweiligen Aussage der Maße sind Fallstudien in unterschiedlichen thematischen Bereichen notwendig. Als Beispiele wurden bereits die Forstwirtschaft und der Naturschutz insbesondere bei Habitatmodellen und Biotop-Netzwerken genannt. Nicht zuletzt ist für eine gute Anwendbarkeit und Erprobung auch die technische Aufbereitung solcher Methoden als leicht einsetzbare Werkzeuge, beispielsweise als Erweiterung für ein GIS, Voraussetzung.

## Danksagung

Die Verfasser danken MARCO TROMMLER von der TU Dresden für die Unterstützung und der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die Förderung des Vorhabens.

## Literatur

BAILEY, R.G., 2004: Role of Landform in Differentiation of Ecosystems at the Mesoscale (Landscape Mosaics). – Draft Paper, 10/29/2004; vgl.: [www.fs.fed.us/institute/news\\_info/role\\_of\\_landform2.pdf](http://www.fs.fed.us/institute/news_info/role_of_landform2.pdf)

- BEASOM, S.L., 1983: A technique for assessing land surface ruggedness. – *Journal of Wildlife Management* **47**: 1163–1166.
- BENGTSSON, A., 1991: On three-dimensional measurement of surface roughness. – Chalmers University of Technology, Göteborg.
- BLASCHKE, T., TIEDE, D. & HEURICH, M., 2004: 3D-Landscape Metrics to Modelling Forest Structure and Diversity Based on Laser-Scanning Data. – In: THIES, M., KOCH, B., SPIECKER, H. WEINACKER, H. (eds.): Proceedings of the ISPRS working group VIII/2, “Laser-Scanners for Forest and Landscape Assessment.” – International Society of Photogrammetry and Remote Sensing. ([http://www.isprs.org/commission8/workshop\\_laser\\_forest/BLASCHKE.pdf](http://www.isprs.org/commission8/workshop_laser_forest/BLASCHKE.pdf))
- BLASZCZYNSKI, J.S., 1997: Landform characterization with geographic information systems. – *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* **63**(2): 183–191.
- COUTERON, P., BARBIER, N. & GAUTIER, D., 2006: Textural ordination based on Fourier spectral decomposition: a method to analyze and compare landscape patterns. – *Landscape Ecology* **21**(4): 555–567.
- DIKAU, R. & SCHMIDT, J., 1999: Georeliefklassifikation. – In: SCHNEIDER-SLIWA, R., SCHAUB, D. & GEROLD, G. (Hrsg.): *Angewandte Landschaftsökologie – Grundlagen und Methoden.* – 217–244.
- DORNER, B., LERTZMAN, K. & FALL, J., 2002: Landscape pattern in topographically complex landscapes: issues and techniques for analysis. – *Landscape Ecology* **17**(8): 729–743.
- ESRI, 2005: ArcGIS 9.1. ESRI Inc.
- FLORINSKY, I.V., 1998: Combined analysis of digital terrain models and remotely sensed data in landscape investigations. – *Progress in Physical Geography* **22**(1): 33–60.
- FORMAN, R.T.T., 1995: Some general principles of landscape and regional ecology. – *Landscape Ecology* **10**(3): 133–142.
- HOECHSTETTER, S., THINH, N.X. & WALZ, U., 2006: 3D-Indices for the Analysis of Spatial Patterns of Landscape Structure. – In: KREMMERS, H. & TIKUNOV, V. (Hrsg.): *InterCarto-InterGIS 12. International Conference on Geoinformation for Sustainable Development.* – Deutsche Gesellschaft für Kartographie, Berlin, 108–118.
- HOECHSTETTER, S. & WALZ, U., 2006: Werkzeuge und Methoden zur Analyse von dreidimensionalen Landschaftsstrukturen. – In: WITTMANN, J. & MÜLLER, M. (Hrsg.): *Simulation in Umwelt- und Geowissenschaften. Workshop Leipzig 2006.* – Shaker Verlag, Aachen, 235–244.

- JENNESS, J.S., 2004: Calculating landscape surface area from digital elevation models. – *Wildlife Society Bulletin* 32(3): 829–839.
- MathWorks, 2005: MATLAB 7.1.0. – Natick, Massachusetts.
- MCGARIGAL, K. & CUSHMAN, S.A., 2005: The Gradient Concept of Landscape Structure. – In: WIENS, J. & MOSS, M. (Hrsg.): *Issues and Perspectives in Landscape Ecology*. – Cambridge University Press, Cambridge, 112–119.
- MCNAB, W.H., 1992: A topographic index to quantify the effect of mesoscale landform on site productivity. – *Canadian Journal of Forest Research* 23: 1100–1107.
- NOGAMI, M., 1995: Geomorphometric measures for digital elevation models. – *Z. Geomorphologie Suppl.* 101: 53–67.
- OKE, T.R., 1978: *Boundary Layer Climates*. – Cambridge University Press, Cambridge, 158–189.
- PIKE, R.J., 2000: Geomorphometry – diversity in quantitative surface analysis. – *Progress in Physical Geography* 24(1): 1–20.
- Precision Devices Inc., 1998: *Surface Profile Parameters*. vgl.: <http://www.predev.com/smg/pdf/SurfaceRoughness.pdf>
- SEBASTIÁ, M.-T., 2004: Role of Topography and Soils in Grassland Structuring at the Landscape and Community Scales. – *Basic and Applied Ecology* 5: 331–346.
- STOUT, K.J., SULLIVAN, P.J., DONG, W.P., MAINSAH, E., LUO, N., MATHIA, T. & ZAHOUANI, H., 1993: The development of methods for the characterisation of roughness in three dimensions. – In: European Community Contract No 3374/1/0/170/90/2. University of Birmingham, Birmingham.
- SWANSON, F.J., KRATZ, T.K., CAINE, N. & WOODMANSEE, R.G., 1988: Landform Effects on Ecosystem Patterns and Processes. – *BioScience* 38(2): 92–98.
- TROMMLER, M. & CSAPLOVICS, E., 2006: Geoinformationsnetzwerke für die grenzüberschreitende Nationalparkregion Böhmisches-Sächsische Schweiz. – In: STROBL, J. et al. (Hrsg): *Angewandte Geoinformatik 2006*. – Wichmann, Heidelberg, 657–662.
- WILSON, J.P. & GALLANT, J.C., 2000: *Terrain Analysis: Principles and Applications*. – John Wiley & Sons Inc. John Wiley & Sons Inc.
- WOOD, J., 2005: *Landserf 2.2*. London.

#### Anschriften der Autoren:

Dr. ULRICH WALZ,  
e-mail: [u.walz@ioer.de](mailto:u.walz@ioer.de)

Dipl.-Geoökol. SEBASTIAN HOECHSTETTER  
e-mail: [s.hoechstetter@ioer.de](mailto:s.hoechstetter@ioer.de)

PD Dr. habil. NGUYEN XUAN THINH  
e-mail: [ng.thinh@ioer.de](mailto:ng.thinh@ioer.de)

Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. (IÖR)  
Weberplatz 1, 01217 Dresden

Manuskript eingereicht: Februar 2007  
Angenommen: April 2007

## Attention Guiding Visualization in Remote Sensing IIM Systems

OLIVIER SWIENTY, FRANZ KURZ, München & TUMASCH REICHENBACHER, Zürich

**Keywords:** Remote Sensing, image information mining, visual cognition, attention, visualization, relevance

**Zusammenfassung:** *Aufmerksamkeitslenkende Visualisierung zur inhaltsbasierten Bildsuche in Fernerkundungsdatenbanken.* Obwohl erfolgreiche Algorithmen zur inhaltsbasierten Bildsuche entwickelt und implementiert worden sind, ist die Visualisierung der Abfrageergebnisse in Systemen der Bildsuche nicht an die menschliche kognitive Fähigkeit der visuellen Informationsprozessierung angepasst worden. Die wichtigsten Eigenschaften der visuellen Informationsprozessierung von Fernerkundungsbildern spiegeln sich in den Hauptfaktoren der visuellen Aufmerksamkeit wider: die Fähigkeit der schnellen Lokalisierung (wo) und der einfachen Dekodierung (was) von visualisierter Information, um Rückschlüsse ziehen zu können.

Die semantische Komponente dieser Faktoren ist wesentlicher Arbeitsgegenstand von Ingenieuren im Bereich der inhaltsbasierten Bildabfrage. Zusätzlich wird die visuelle Aufmerksamkeit von sensorischen Reizen gelenkt, welche Anwendern die Lokalisierung relevanter Information ermöglicht. Dieser Beitrag konzentriert sich auf die kognitiv-adäquate Visualisierung der Lokalität relevanter Information, um Anwender bei der schnellen Navigation in Richtung interessanter Information zu unterstützen. Die Unterstützung bei der Lenkung der Aufmerksamkeit auf die Lokalität relevanter Information führt zu einer Verminderung der beanspruchten kognitiven Kapazität, welche für die Prozessierung von Kontextinformation und der Entscheidungsfindung benötigt wird. Bei der Formulierung von adäquaten Gestaltungsprinzipien sind folglich Aspekte der neurokognitiven visuellen Informationsprozessierung und der Relevanz von Information bedeutend. Auf diesen Prinzipien basierend wird eine Methodik der Gestaltung von aufmerksamkeitslenkenden Visualisierungen entwickelt und angepasste Visualisierungen vorgestellt.

Die Anwendung eines rechnergestützten visuellen Aufmerksamkeitsmodells erlaubt die Evaluie-

**Abstract:** Although there has been successful work in developing image mining algorithms to extract information, the visualization of query results in Image Information Mining (IIM) systems is still not well adapted to the human cognitive skill of visual information processing.

The main value of processing remotely sensed images is reflected in basic factors of visual attention, i. e. the ability to promptly locate (where) and easily decode (what) geographic information for making inferences. The semantic component is reflected in the work of engineers in the field of Content-based Image Retrieval (CBIR). In addition, human visual attention is guided automatically by sensory stimulation affording users to know where relevant information is located.

This work concentrates on the cognitively adequate visualization of the location of relevant information to support users to navigate rapidly towards information of interest. Supporting users in directing their attention towards the location of relevant information reduces the cognitive workload retained for processing context information and decision making. Therefore, we consider neurocognitive foundations of visual information processing and theories of relevance to frame appropriate design principles. Based on these principles, we establish a design methodology for attention guiding visualization (AGV) and illustrate adapted visualizations. By applying a computed visual attention model, we evaluate proposed visualizations and relate results to upcoming research challenges for the effective visualization in remote sensing IIM systems.

rung der Visualisierungen und offenbart zukünftige Herausforderungen für die Visualisierung von Informationen in Systemen der inhaltsbasierten Bildsuche.

## 1 Introduction

This work focuses on the development, application, and evaluation of attention guiding visualization (AGV) on remotely sensed images with respect to visual cognition and relevance.

Image Information Mining (IIM) systems are increasingly in demand due to the rapid growth in the volume of remotely sensed imagery data. Using satellite images for land cover classification or managing ecosystems is no longer restricted to military or scientific experts. Missions like TerraSAR-X, coordinated by the German Aerospace Centre (DLR), that are realised in a public private partnership will allow the general public a spatiotemporal exploration of geographic phenomena on a very high level of detail. In order to derive semantic information from images there has been a large research effort in developing semantic concepts in visual databases and producing various solutions for the retrieval of earth observation data (BURL et al. 1999, SCHRÖDER et al. 2000, RAMACHANDRAN et al. 2000, BRETSCHEIDER & KAO 2002, DURBA & KING 2004, AKSOY et al. 2004). Various technical methods exclusively serve to bridge the semantic gap, i. e. linking the algorithmic extracted and clearly defined low-level features of a system with the neural and complex high-level semantic concepts that humans associate with images. The present configuration of IIM systems is therefore predominantly concentrated on developing techniques for the algorithmic search of information. Yet, in addition to the need of developing algorithms for pattern exploration, the results must be visualised effectively (ZHANG et al. 2001b); i. e. supporting users to navigate their visual attention towards information of interest by making full use of

their visual cognitive skills (SWIENTY 2005). Anyhow, Content-based Image Retrieval (CBIR) is characterised by the focus on the system's ability to retrieve information rather than by the human ability to visually detect relevant information. Assuming that CBIR "... addresses the problem of finding images relevant to the users' information needs ..." (LAAKSONEN et al. 2005, p. 127) and "... is characterized by the ability of the system to retrieve relevant images based on their semantic and visual contents rather than by using atomic attributes or keywords assigned to them" (LI & NARAYANAN 2004, p.673) implies that users are searching for the location of information by visually scanning the display. Exploring users have to cope with a plethora of displayed geographic information. Hence, success depends on the users ability to omit irrelevant sensory input to focus on the relevant information by directing the gaze towards objects of interest (NOBRE et al. 2000, ITTI 2003, MOORE & FALLAH 2004, HAFED & CLARK 2002). Consequently, our main objective is to depict as much information as needed but as little as possible. Therefore, we propose an AGV serving the visual search of relevant information guided by perceptually salient characteristics.

The theoretical background of AGV is positioned in guidelines of usability engineering; i. e. a user's practical acceptability of a system highly depends on the basic pillar usefulness and its subcomponents, utility and usability (NIELSEN 1993). Although there has been successful work in developing CBIR techniques for the retrieval of remotely sensed images (VELLAIKAL et al. 1995, BRETSCHEIDER et al. 2002, AKSOY 2006), the usefulness of IIM systems is still not achieved due to impairments of utility and usability. We consider the relevance of infor-



mation as an element of utility and its cognitively adequate visualization as an element of usability (REICHENBACHER & SWIENTY 2006). To enhance the utility, we separate irrelevant from relevant data by implementing relevance as a filter and embody relevance values as attributes of the selected objects (REICHENBACHER 2005). These relevant objects and the surrounded context information are displayed in a visualization which is adapted to the human ability of visual attention to optimise the system's usability. An exploratory visualization must support users in keeping their focus on the task, with minimal distraction in operating the display (SHNEIDERMAN & PLAISANT 2004). We argue that a combination of relevance filtering and a cognitively adequate visualization increases the overall usefulness of IIM systems and makes a substantial contribution to their practical acceptability.

## 2 Visual Processing of Image Data

Due to the novelty of IIM and its experimental stage in research (ZHANG et al. 2001b, LI & NARAYANAN 2004) we emphasise that our approach is not bound to a specific remote sensing IIM prototype system. AGV is positioned in both image mining frameworks presented by (ZHANG et al. 2001b); the function-driven framework (DATCU & SEIDEL 2005, ZAIAANE et al., 1998) and the information-driven framework (ZHANG et al. 2001a). In the function-driven framework AGV plays an important role as a component of the pre-processing system and image mining system, affording to visually process image meaning and detect relevant patterns. In the information-driven framework AGV is a crucial element aiming at highlighting the role of information at different levels of representation. We consider AGV as a major technique of CBIR in remote sensing IIM systems. The implementation of attention guiding attributes accelerates the process of image processing and is therefore a major contribution to image understanding. AGV highlights the location (where) of information which is one of the

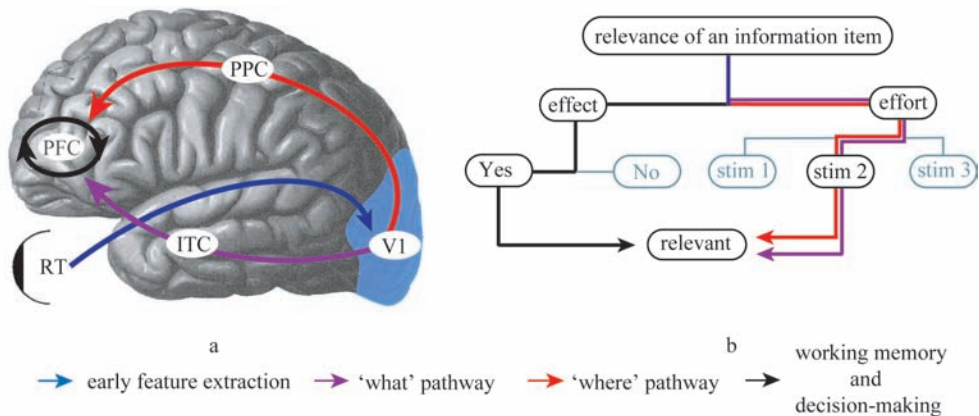
components that humans process to comprehend the content (what) of images.

### 2.1 Relevance and Visual Cognition

'Relevance' is used to express the significance or importance and has a relative character. SARACEVIC (1996) classified such relations and differentiates between objective and subjective relevance. The objective relevance is reflected in the algorithmic determination of information. In the fields of communication and pragmatics the objective value is inapplicable and is replaced by the subjective relevance where the relevance of entities is determined by the user's judgement which can be influenced by interfering factors. For example, the result of a query could display a large amount of irrelevant information that deviates the user's gaze from relevant information. Subjective relevance includes the theory of cognitive relevance (WILSON & SPERBER 2004) by applying relevance as an assessment criterion for processable stimuli; one basic aspect of AGV.

'Visual cognition' describes the processing of displayed information that is largely affected by factors of attention (MEADOR et al. 2002, LEZAK et al. 2004). When processing complex visualizations in IIM systems users adopt a mechanism of visual attention to concentrate on relevant information while omitting competing irrelevant information; i. e. the capability of selective visual attention allowing humans to extract and recognise relevant information in visual scenes with high efficiency despite their complexity (DECO & ZIHL 2001). In selective visual attention humans scan their visual environment where the quantity of information processed is in the range of  $10^8$ – $10^9$  bits per second (DECO et al. 2002). Fig. 1a illustrates the basic cortical processing pathways and major cortical areas involved in attentional information processing.

(1) Early feature extraction carries sensory signals from the retina (RT) to higher brain areas via the primary visual cortex (V1). (2) The 'what' pathway is concerned with the identification and recognition of visual objects. The inferotemporal cortex



**Fig. 1:** (a) Major cortical pathways and areas of visual attention, (b) Cognitive relevance.

(ITC) deals with the identification of stimuli and pattern recognition (GRILL-SPECTOR & MALACH 2004). (3) The 'where' pathway is specialised in the spatial deployment of attention and localisation of attended stimuli. Neurons fire to the posterior parietal cortex (PPC) that contains a saliency representation of a visual scene (GOTTLIEB et al. 1998). (4) The prefrontal cortex (PFC) is important for converting sensory signals to motor output. This conversion takes place in the working memory (WM) system, deals with the updating, maintenance, monitoring, manipulation, and selection of stored information.

Fig. 1b depicts a cognitive relevance model by relating basic processing stages to appropriate pathways. According to the relevance theory (WILSON & SPERBER 2004), cognition is always geared to a maximisation of relevance. Two criteria effect and effort are responsible to evaluate the relevance of a stimulus. First, only a stimulus that is processed on the 'what' path (fast information decoding) and the 'where' path (fast object localisation) with little efforts is considered as relevant and will be further processed. The relevant stimulus has to attract the user's attention and conceal distractive irrelevant stimuli that deviates the gaze from the target. Second, only a stimulus that is processed via the PFC has an effect (triggers inferences) on further actions.

Finally, only stimuli that unify both criteria, small effort and large effect, will be processed.

## 2.2 Guiding Attention to Location

It has been shown that in vision attention is controlled by knowledge (top-down) and sensory stimulation (bottom-up). The interaction of these factors controls where, how and to what humans pay attention in a visual environment to initiate cognitive control (CORBETTA & SHULMAN 2002). The development of AGV is bottom-up oriented and tends to accelerate the visual information processing by particularly providing neural responses along the 'where' pathway. We hypothesise that supporting a user in directing the attention to relevant information implicates a preservation of higher WM capacities that are needed for the semantic decoding of information. The design methodology of AGV adapts the visualization of relevant information to human capabilities of selective visual attention. The basic design approach follows the biological centre-surround mechanism, i.e. to suppress surrounded context information to focus on relevant information which optimises information transmission (VINJE & GALLANT 2000) and which can be regarded 'as the fundamental perceptual act of identifying objects' (WARE 2004, p. 196). This leads us to

integrate the design principles into a visual hierarchy. Elementary design principles to establish a visual hierarchy are for instance (KRYGIER & WOOD 2005): (1) Visual difference of colour, lightness or texture, (2) figure has more detail than ground and (3) sharp edges of figures separate them from less important figures.

Additionally, relevance values are encoded in the way that users can easily process the ranking order. Fig. 2 illustrates the possible use of visual elements in image processing techniques. The elements stem from graphical variables used in information visualization and recent findings on visual attention in cognitive neuroscience. We relate these attributes to graphical variables and derive their applicability to image processing techniques.

### Visual attention guiding attributes

Amongst the number of stimuli to be processed some are reflexively extracted only because of local differences between this item and its surrounding without having any information about the target in advance. Such attention-guiding attributes and corresponding features were ranked by WOLFE &

HOROWITZ (2004) who regard colour, motion, orientation, and size as undoubted attributes. In this work, we exclude motion, because we concentrate only on static attributes. However, motion plays a decisive role in attracting attention due to its shorter response time in visual search tasks compared to static attributes (PETERSON & DUGAS 1972).

### Graphical and extended graphical variables

For designing visually discernible graphical signs that reflect differences in the data to be visualised, BERTIN (1974) proposed a set of graphical variables such as size, orientation, colour (hue), and value (lightness), shape, and texture. We also consider the extended variables colour saturation, crispness, resolution, and transparency proposed by MACEACHREN (1995). Depending on the scale of measurement some of the graphical variables are more apt than others. Here, we deal with relevance values as an ordered set of relevance ranks. Bertin identifies texture, value, and size as ordered variables that allow the spontaneous decoding of order. MacEachren suggested that also colour

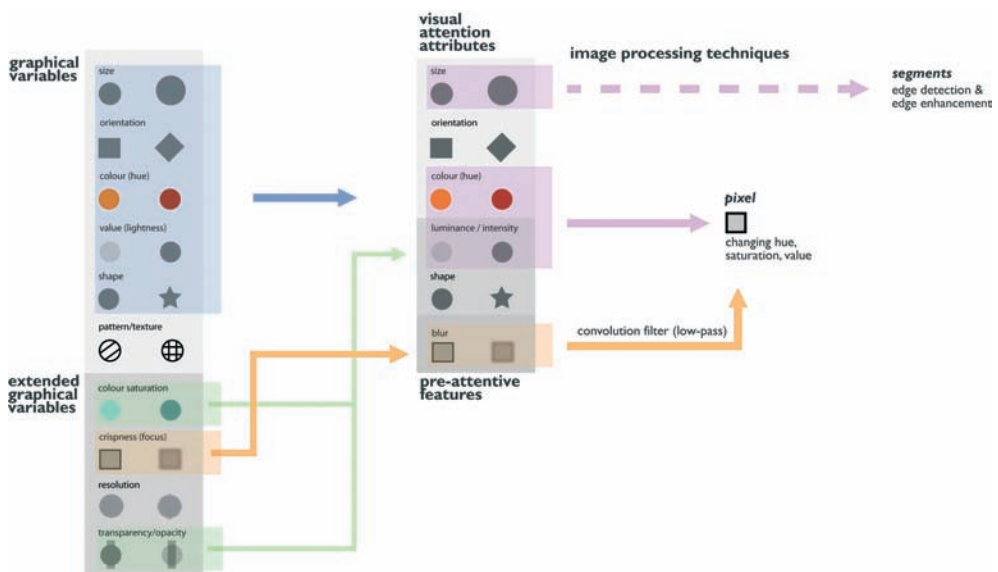


Fig. 2: Graphical variables for salient visualization in pixel-based remote sensing imagery.

hue could be used for visualising ordered data, if colours are used that form a sequence on the colour circle. He further proposes the use of colour saturation, transparency, and crispness for ordered values. Since the attribute shape is a graphical variable, we added it to the list of WOLFE & HOROWITZ (2004) who classified shape as a probable attribute to guide visual attention. The attribute luminance/intensity corresponds to the graphical variable value. Furthermore, we consider the extended graphical variables colour saturation and transparency to be correlated with value. The value is reflected in the luminance polarity ranked as a probable attribute. The attribute blur is not stated explicitly in the list of WOLFE & HOROWITZ but attested to serve for highlighting relevant objects by blurring distracting information (KOSARA et al. 2002). We relate the size, orientation, colour, and shape to the mentioned graphical variables. With the exception of texture all graphical variables can be considered to guide a user's visual attention to the information of interest.

### Image processing techniques

So far we have considered variables applicable to graphics. Here, we deal with pixels which implies that some of the variables are not applicable due to the intrinsic characteristics of the raster model. The variables orientation and shape cannot be used, because they are not variable in the raster model. The attribute size might be useful to highlight relevant objects in segment-based IIM systems. Wider edges make information to stand out against the thin edges of irrelevant information. This technique optimises the visual dissociation of objects from the background. The attribute blur is implemented to regulate the clarity of objects by using lowpass convolution filters. Objects that are in focus and sharp are extracted faster than smooth or blurred ones and the relevance order can be easily decoded. Note that attributes differ in their capability to encode relevance values. The effect of the variables blur, colour saturation, and transparency to

visualise relevance orders are untested and may work for no more than two or three categories (MACEACHREN 1995). The attributes colour hue and luminance/intensity are used to regulate the saliency of objects by the changing hue, saturation and colour value of single pixels.

### 3 Implementation

The implementation of the proposed visualization method is demonstrated with two image information mining scenarios. The scenarios are based on an ESAR (German Aerospace Centre – X-SAR Sensor) scene from Mannheim, Germany. The pixel ground size is two meters. An unsupervised k-means clustering of the SAR scene was performed leading to four spectral clusters  $C_1 \dots C_4$ , described by the assignment of image pixels to clusters  $I \rightarrow C$ . Based on these clusters, an interactive (supervised) training was performed to estimate the conditional probabilities  $p(L|C_i)$  and  $p(\neg L|C_i)$ , which define the probability for the label L given cluster  $C_i$ . In our example, label L defines the label, which the user wants to detect in the image and  $\neg L$  the alternative hypothesis, e. g. label L is street if the user wants to find streets and  $\neg L$  means “not street”. This is also a restriction, as we allow no other labels, which the user could detect. By giving positive or negative examples of the desired label L, the likelihood function  $p(C_i|L)$  can be estimated, which, due to the Bayes Theorem, is proportional to the a posteriori function  $p(L|C_i)$  (DATCU et al. 1998, DATCU & SEIDEL 2005). The example values for two simulated image information mining scenarios are shown in Tab. 1. For all clusters, example values for the a posteriori function  $p(L|C_i)$  are listed. As label L we defined the information classes ‘street’ and ‘forest’, i. e. the user wants to detect streets and forests in the image database. In practical applications, the a posteriori probabilities are estimated by giving positive or negative examples of the desired label as for example seen in the values 0.9 for cluster 1 and 0.2 for cluster 4. The visualization method is implemented using the original

**Tab. 1:** Simulated information mining example: Listing of a posteriori probabilities for the two examples “streets” and “forest”.

Class	$p(Street C_i)$	$p(Street C_i)$	$p(Forest C_i)$	$p(-Forest C_i)$
Cluster 1	0.9	0.1	0.2	0.8
Cluster 2	0.6	0.4	0.4	0.6
Cluster 3	0.4	0.6	0.9	0.1
Cluster 4	0.2	0.8	0.6	0.4

image I, the clusters C, and the a posteriori probabilities  $p(L|C_i)$ . We investigate the attention guiding attributes colour (hue, saturation, value), variable smoothing techniques (blur), and combinations of these.

**Colour**

The basic idea is to assign colours to probability values by applying a colour lookup

table as shown in Tab. 2. The probabilities shown in Tab. 1 are classified into four probability classes (Tab. 2) and for each class a different colour is assigned based on varying the colour hue H, saturation S, and value V (colour indexing). Examples 1–5 list variations of the parameter hue, example 6 reflects the change of saturation, and example 7 corresponds to the variation of value. To compare these visualizations example 8

**Tab. 2:** Indexing of probabilities by colours (values according to the HSV colour space).

	$0 < p \leq 0.3$	$0.3 < p \leq 0.5$	$0.5 < p \leq 0.7$	$p > 0.7$
1	Yellow-Orange-Red			
	[17 100 100]	[12 100 100]	[6 100 100]	[3 100 100]
2	Orange-Red-Violet			
	[12 100 100]	[6 100 100]	[3 100 100]	[95 100 100]
3	Light blue-Dark blue-Violet			
	[50 100 100]	[60 100 100]	[67 100 100]	[75 100 100]
4	Yellow-Light green-Dark green			
	[17 100 100]	[24 100 100]	[31 100 100]	[39 100 100]
5	Light blue-Mid blue-Dark blue			
	[50 100 100]	[55 100 100]	[60 100 100]	[65 100 100]
6	Saturation change			
	[3 30 100]	[3 50 100]	[3 75 100]	[3 100 100]
7	Brightness change			
	[0 0 20]	[0 0 40]	[0 0 60]	[0 0 80]
8	Common visualization in IIM systems			
	[0 0 10]	[0 0 30]	[0 0 70]	[3 100 100]

shows the common way of visualization in IIM systems based on the transition from dark grey over bright grey to red.

### Smoothing

In general, image smoothing is the convolution of a filter matrix  $F$  of size  $k$  with the original image  $I$  and usually involves a loss of information. Parameter  $k$  defines the magnitude of smoothing as a linear function depending on the a posteriori probabilities  $k = a + b * p$ , i. e. the original image  $I$  will be smoothed pixel-by-pixel with a varying mean filter depending on the a posteriori probability  $p$ . The linear equation implies that in pixels with low probability  $p$  the original image  $I$  will be more strongly smoothed. As the user is limited in the cognition of fine differences in the filter size, we applied an indexing of filter sizes similar to colour coding (Tab. 3), which corresponds to linear parameters  $a = 1.04e02$  and  $b = -1.22e02$  from the above-mentioned equation.

**Tab. 3:** Indexing of filter sizes  $k$ .

	$0 < p \leq 0.3$	$0.3 < p \leq 0.5$	$0.5 < p \leq 0.7$	$p > 0.7$
$k$	90	50	30	3

### Combinations

The combination of colour indexing and variable smoothing combines the advantages of both visualization methods. The visualization of probabilities with colour is superimposed the smoothed original image. We generated the overlays of eight colourisations on the smoothed original image with transparencies of  $t = 0.33$  and  $t = 0.66$ . The general case of a visualization  $V$ , which includes the transformation of the original image  $I$  by a function  $g$  (e. g. smoothing) and the visualization of probabilities by a function  $f$ , could be stated as follows:

$$V = [1 - t(p)] \cdot g(I, p) + t(p) \cdot f(C, p)$$

Additionally, this equation includes a functional relationship between the probability

$p$  and the transparency  $t$ , i. e. the transparency changes depending on the probabilities. Applying such a function would show more details of the less smoothed original image in pixels with higher probabilities and the colour coding in pixels with lower probabilities.

## 4 Evaluation

To approve the need for a salient and relevance-ranked visualization as a bottom-up component we evaluate the adapted visualizations with a computational visual attention model that is oriented towards neural mechanisms of human visual attention.

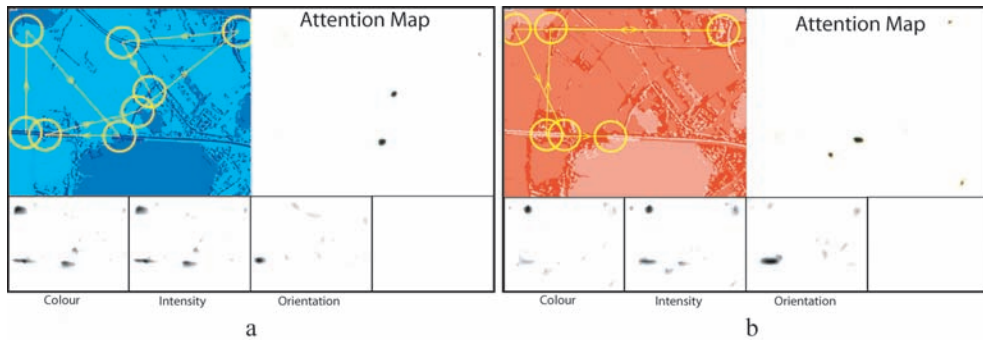
### 4.1 The attention model

The computational model has been successfully validated by experimental evidence in visual search tasks (TREISMAN & GELADE 1980) and proved to be appropriate to prognosticate human eye-movement data in map-design evaluation (FABRIKANT et al. 2006). It is solely bottom-up guided and based on a multi-scale extraction of three pre-attentive features (colour hue, colour value, orientation contrast), i. e. the predicted gaze paths are directed to these features automatically. The circles illustrate eye fixations and arrows indicate the direction of gaze paths. The basic principle is the biological focussing character of visual neurons. In the centre of a visual scene neurons are highly sensitive, while they show a weak response in the concentric surrounded area. This mechanism is reflected in the computed difference between fine and coarse scales. Finally, the focus of attention highlights salient regions of a visualization in the attention map. For a detailed description see e. g. ITTI & KOCH (2001).

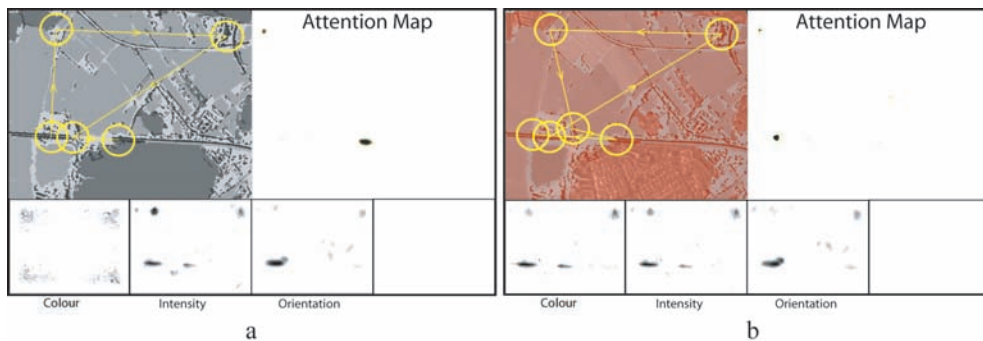
### 4.2 Evaluation

Fig. 3 to 5 depict the evaluation model outcomes that show the predicted locations that will attract gazes in our proposed visualizations. The yellow circles represent the locations of eye fixations (focus of attention) and





**Fig. 3:** (a) Image that was configured with the variable colour hue, (b) saturation.



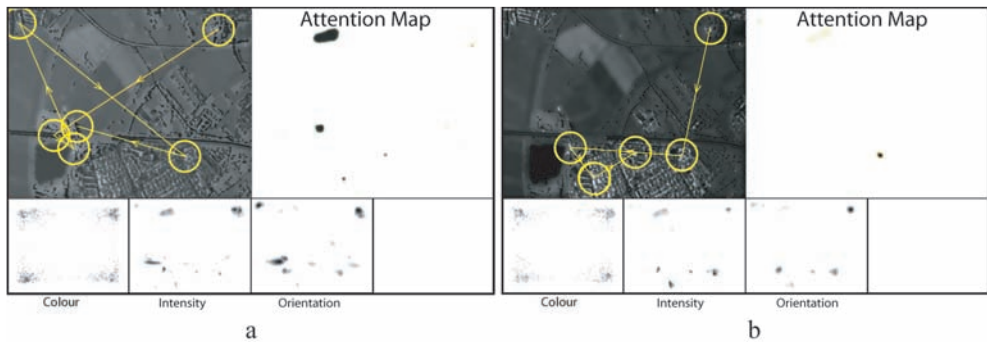
**Fig. 4:** (a) Image that was configured with the variable colour value, (b) colour value and blur.

the yellow arrows show the sequence and direction of eye scan paths. The light areas in the three conspicuity maps on the bottom indicate salient image locations related to colour (hue), intensity (value), and orientation contrasts. The most salient image locations of the image are represented by the areas in the attention map. Fig. 3a illustrates the configuration with the variable colour hue. The most relevant information (streets) appears in dark blue and was correctly located by the model except for the second fixation in the upper left corner of the image where high colour and intensity values deviated the gaze from the target. The street that horizontally crosses the image is located by the system within the first four fixations due to high salient image locations of colour, intensity, and orientation contrast.

Fig. 3b illustrates salient regions in the satellite image that are encoded with the

variable saturation. Here, the information of interest (forest) appears in dark red and is fixated with the second and fourth eye fixation in the upper left corner (high colour and intensity contrast) and the third fixation in the lower left corner (high intensity and orientation contrast). Fig. 4a depicts the locations detected in the image where the relevant information is visualised with the variable colour value. The first fixation goes to the relevant information ('streets') because of high intensity and orientation contrast. The second focus of interest is deviated to the upper left and upper right corner attracted by high intensity contrasts. The scan path finally returns next to the starting point.

The variable colour saturation combined with blur was tested in Fig. 4b. Due to high salient image locations of colour, intensity and orientation the location of interest



**Fig. 5:** (a) Image that was configured with the variables transparency and blur, (b) blur.

(streets) is rapidly detected. Salient regions in the upper left and right corner then deviate the gaze from the target. Finally, the last three fixations scan the street in short sequences. Fig. 5 depict the fixations and scan paths to the relevant information (streets) highlighted by the combined variables transparency and blur (Fig. 5a) and blur (Fig. 5b). Only one location was detected correctly in Fig. 5a. Gazes in Fig. 5b completely fail to detect streets in the image.

## 5 Conclusion

The evaluation allows drawing several conclusions. Following the proposed design principles have led to a partially better visual processing of relevant information. The visualizations with the variables colour hue, colour saturation, colour value, and the combination of colour saturation and blur are appropriate to detect structures depending on the adjacent cluster visualization. In Fig. 3a, 3b, 4a the relevant information was detected due to high differences in contrast of colour, intensity and orientation to neighbouring clusters in the image. For example dark red forests are detected because of the co-location of bright red streets. Accordingly, changing hue, saturation, and colour values of pixels is a useful technique to support the visual detection of salient information. The variable blur (Fig. 5a, b) is not favourable for a fast detection of information. Both visualizations contain too many dis-

trictive salient locations with high intensity and orientation contrasts.

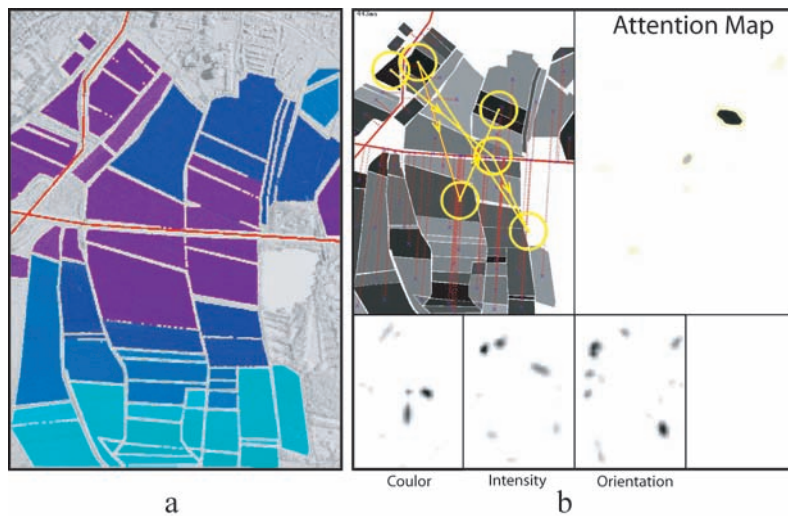
As shown in Fig. 3 and 4 the pixel-based visualization of relevant information is suitable to a limited extent. While areas can easily be located, linear structures are often interrupted by distractive information and hardly to be perceived as a whole structure. Thus, in pixel-based IIM systems AGV has limited capabilities for highlighting relevant linear information. However, it is an appropriate technique to highlight areal structures and to depict a set of relevance ranks due to the use of ordered variables.

## 6 Outlook

Due to several limitations of pixel-based remote sensing IIM systems that compromise a system's practical acceptability we suggest further research in the following aspects:

(1) The proposed visualizations are in principal universal and independent of the sensor type, the viewing geometry, the spectral and spatial resolution. Still, results may differ, as for example images from active sensors like SAR are noisy due to the speckle effect. Thus, isolated, very bright pixels caused by the speckle effect could act as distractors. Speckle denoising may reduce the distractive influence of these pixels. Besides, as we suppose correct a posteriori probabilities and perfect clustering (i. e. all spectral clusters are directly related to information classes) we have to focus on the visualization





**Fig. 6:** (a) Possible AGV in a segment-based system, (b) AGV with graphics in a segment-based system.

of inaccurate probabilities and false clustering. Visualizations should avoid the suppressing of information in regions with low probabilities, since this information could be needed for the correct estimation of the a posteriori probabilities. Therefore, methods like masking or strong smoothing should not be applied.

(2) We did not consider the application of vector graphics. In Fig. 6 we presumed that a user searches for specific fields that are located at intervals of  $x$  meters to a certain type of street. The model indicates that there is evidence that AGV in segment-based systems is very effective. Since segments provide homogeneity, segment-based images have less distractive stimuli and relevance values can be easier decoded. Although the computational classification of relevance values and the extraction of relevant fields is successful the visualization lacks of missing context information. Colour value is not very appropriate to visualise the result, because it conceals relevant context information that users need for visual spatial navigation. The combination of the variable blur and different sizes of segment contours may be more appropriate. To outline, the variety of attention-guiding attributes can be more versatilely and effectively

implemented to segments than to single pixels.

(3) It is quite problematic to categorise features only in relation to their salient pop-out effect and their efficiency in search tasks. WOLFE & HOROWITZ (2004) point out that their listed attributes 'might' guide the deployment of attention. Some searches for targets can be efficient even though no feature represents the focal information (THEEUWES & KOOI 1994) and others noted to be processed attentively are not fully appropriate to efficient search (WOLFE & DIMASE 2003).

(4) The presented findings are exclusively related to the visualization of the location of information. As described, visual attention is also guided by top-down factors. Additional studies analysing the human gaze path of decoding semantic information from satellite images will generate findings that optimise information processing via the ventral what pathway. Due to the focus on static attributes we recommend further research to test the capability of dynamic attributes for the visual processing of remotely sensed images. There is clear evidence that dynamic attributes are highly appropriate to attract attention particularly in corners of a display (BARTRAM et al. 2003, WARE 2004).

## References

- AKSOY, S., 2006: Modeling of Remote Sensing Image Content using Attributed Relational Graphs. – IAPR International Workshop on Structural and Syntactic Pattern Recognition, Hong Kong, China, August 17–19, 2006.
- AKSOY, S., KOPERSKI, K., TUSK, C. & MARCHISIO, G., 2004: Interactive Training of Advanced Classifiers for Mining Remote Sensing Image Archives. – ACM International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, Seattle, WA, August 22–25, 2004, 773–782.
- BARTRAM, L., WARE, C. & CALVERT, T., 2003: Moticons: Detection, distraction and task. – International Journal of Human-Computer Studies **58**(5): 515–545.
- BERTIN, J., 1974: Graphische Semiologie. – de Gruyter, Berlin.
- BRETSCHNEIDER, T., CAVET, R. & KAO, O., 2002: Retrieval of remotely sensed imagery using spectral information content. – International Geoscience and Remote Sensing Symposium **4**: 2253–2256.
- BRETSCHNEIDER, T. & KAO, O., 2002: A Retrieval System for Remotely Sensed Imagery. – International Conference on Imaging Science, Systems, and Technology, **2**.
- BURL, M.C., FOWLKES, C., RODEN, J., STECHERT, A. & MUKHTAR, S., 1999: Diamond eye: A distributed architecture for image data mining. – SPIE AeroSense Conference on Data Mining and Knowledge Discovery, 3695, Orlando, FL, April 1999, 197–206.
- CORBETTA, M. & SHULMAN, G.L., 2002: Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. – Nature reviews. Neuroscience **3**(3): 201–215.
- DATCU, M., SEIDEL, K. & WALESSA, M., 1998: Spatial information retrieval from remote-sensing images. I. Information theoretical perspective. – IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing **36**(5): 1431–1445.
- DATCU, M. & SEIDEL, K., 2005: Human Centered Concepts for Exploration and Understanding of Earth Observation Images. – IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing **43**(3): 601–609.
- DECO, G., POLLATOS, O. & ZIHL, J., 2002: The time course of selective visual attention: theory and experiments. – Vision Research **42**(27): 2925–2945.
- DECO, G. & ZIHL, J., 2001: A neurodynamical model of visual attention: Feedback enhancement of spatial resolution in a hierarchical system. – Journal of Computational Neuroscience, **10**: 231–253.
- DURBA, S.S. & KING, R.L., 2004: Knowledge Mining in Earth Observation Data Archives: A Domain Ontology Perspective. – IEEE International Conference Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1, September 20–24, 2004, 172–173.
- FABRIKANT, S.I., MONTELLO, D.R. & REBICH, S., 2006: The look of weather maps. – In: RAUBAL, M., MILLER, H.J., FRANK, A.U. & GOODCHILD, M.F. (Eds.): Geographic Information Science. – ifGI prints, Münster, 59–60.
- GOTTLIEB, J.P., KUSUNOKI, M. & GOLDBERG, M.E. (1998): The Representation of Visual Saliency in Monkey Parietal Cortex. – Nature **391**(6666): 481–484.
- GRILL-SPECTOR, K. & MALACH, R., 2004: The human visual cortex. – Annual Review in Neuroscience, **27**: 649–677.
- HAFED, Z.M. & CLARK, J.J., 2002: Microsaccades as an overt measure of covert attention shifts. – Vision Research **42**(22): 2533–2545.
- ITTI, L., 2003: Modeling Primate Visual Attention. – In: FENG, J. (Ed.): Computational Neuroscience: A Comprehensive Approach. – Chapman & Hall/CRC Press, Boca Raton, FL, 635–655.
- ITTI, L. & KOCH, C., 2001: Computational Modeling of Visual Attention. – Nature Reviews Neuroscience, **2** (3): 194–203.
- KOSARA, R., MIKSCH, S. & HAUSER, H., 2002: Focus and Context Taken Literally. – IEEE Computer Graphics and its Applications, **22**(1): 22–29.
- KRYGIER, J.B. & WOOD, D., 2005: Making maps: a visual guide to map design for GIS. – Guilford Press, New York.
- LAAKSONEN, J., VIITANIEMI, V. & KOSKELA, M., 2005: Emergence of semantic concepts in visual databases. – International and Interdisciplinary Conference on Adaptive Knowledge Representation and Reasoning (AKRR 05), Espoo, Finland, June 2005, 127–134.
- LEZAK, M.D., HOWIESON, D.B. & LORING, D.W., 2004: Neuropsychological assessment. – Oxford University Press, Oxford.
- LI, J. & NARAYANAN, R.M., 2004: Integrated spectral and spatial information mining in remote sensing imagery. – IEEE Transactions on Geo-science and Remote Sensing, **42**(3): 673–685.
- MAC EACHREN, A.M., 1995: How maps work: representation, visualization, and design. – Guilford Press, New York.
- MEADOR, K.J., RAY, P.G., ECHAUZ, J.R., LORING, D.W. & VACHTSEVANOS, G.J., 2002: Gamma coherence and conscious perception. – Neurology **59**: 847–854.

- MOORE, T. & FALLAH, M., 2004: Microstimulation of the Frontal Eye Field and Its Effects on Covert Spatial Attention. – *Journal of Neurophysiology*, **91**(1): 152–162.
- NIELSEN, J., 1993: *Usability Engineering*. – Morgan Kaufmann – Academic Press, London.
- NOBRE, A. C., GITELMAN, D. R., DIAS, E. C. & MESULAM, M. M., 2000: Covert Visual Spatial Orienting and Saccades: Overlapping Neural Systems. – *NeuroImage*, **11**(3): 210–216.
- PETERSON, H. E. & DUGAS, D. J., 1972: The relative importance of contrast and motion in visual detection. – *Human Factors*, **14**: 207–216.
- RAMACHANDRAN, R., CONOVER, H. T., GRAVES, S. J. & KEISER, K., 2000: Challenges and solutions to mining earth science data. – *SPIE*, 4057, April 2000, pp. 259–264.
- REICHENBACHER, T., 2005: The Importance of Being Relevant. – XXII International Cartographic Conference, A Coruna, Spain, July 9-16, 2005.
- REICHENBACHER, T. & SWIENTY, O., 2006: Relevanz und Kognition in der mobilen Kartographie. – In: Dt. Ges. Kartographie (Ed.), *Kartographische Schriften*, Band 10: Aktuelle Entwicklungen in Geoinformation und Visualisierung. – Beiträge des Seminars GEOVIS 2006, Potsdam, 3.-5. April 2006. Kirschbaum, Bonn, 83–90.
- SARACEVIC, T., 1996: Relevance reconsidered. – Second Conference on Conceptions of Library and Information Science (CoLIS 2), Copenhagen, October 14–17, 1996, 201–218.
- SCHRÖDER, M., REHRAUER, H., SEIDEL, K. & DATCU, M., 2000: Interactive learning and probabilistic retrieval in remote sensing image archives. – *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, **38**(5, 1): 2288–2298.
- SHNEIDERMAN, B. & PLAISANT, C., 2004: *Designing the user interface: strategies for effective human-computer interaction*. – Pearson/Addison Wesley, Boston.
- SWIENTY, O., 2005: The Development of Explorative Geovisualization Processes. An Approach of User-Specific Explorative Geovisualization. – XXII International Cartographic Conference, A Coruna, Spain, July 9-16, 2005.
- THEEUWES, J. & KOOI, F. L., 1994: Parallel search for a conjunction of shape and contrast polarity. – *Vision Research*, **34**(22): 3013–3016.
- TREISMAN, A. & GELADE, G., 1980: A feature integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, **12**, pp. 97–136.
- VELLAIKAL, A., KUO, C.-C. K. & DAO, S., 1995: Content-based retrieval of remote sensed images using vector quantization. – *Proceedings of SPIE Visual Information Processing IV*, **2488**, Orlando, FL, 178–189.
- VINJE, W. E. & GALLANT, J. L., 2000: Sparse coding and decorrelation in primary visual cortex during natural vision. – *Science*, **287**: 1273–1276.
- WARE, C. (2004): *Information Visualization: Perception for Design*. – Morgan Kaufman, Amsterdam.
- WILSON, D. & SPERBER, D., 2004: Relevance Theory. – In: WARD, G. & HORN, L. (Eds.): *Handbook of Pragmatics*. – Blackwell, Oxford, 607–632.
- WOLFE, J. M. & DiMASE, J. S., 2003: Do intersections serve as basic features in visual search? – *Perception*, **32**(6): 645–656.
- WOLFE, J. M. & HOROWITZ, T. S., 2004: What attributes guide the deployment of visual attention and how do they do it? – *Nature reviews. Neuroscience*, **5**(6): 1–7.
- ZAIANE, O. R., HAN, J. W., ZE-NIAN, L. & HOU, J., 1998: *Mining MultiMedia Data*. – CASCON'98: Meeting of Minds, Toronto, Canada, November 1998, 83–96.
- ZHANG, J., HSU, W. & LEE, M. L., 2001a: An Information-driven Framework for Image Mining. – 12th International Conference on Database and Expert Systems Applications (DEXA), Munich, Germany, September 2001.
- ZHANG, J., WYNNE, H. & LEE, M. L., 2001b: Image mining: Issues, frameworks, and techniques. – 2nd International Workshop Multimedia Data Mining, San Francisco, CA, August 2001, 13–20.

#### Anschriften der Verfasser:

M. A. OLIVIER SWIENTY  
 Lehrstuhl für Kartographie, Technische Universität München, Arcisstr. 21  
 D-80333 München  
 Tel.: 49-89-289 22829, Fax: 49-89-280 95 73,  
 e-mail: olivier.swienty@bv.tum.de

Dr.-Ing. FRANZ KURZ  
 Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt,  
 D-82234 Wessling  
 Tel.: 49-8153-282764, Fax: 49-8153-281 444,  
 e-mail: franz.kurz@dlr.de

Dr.rer.nat. TUMASCH REICHENBACHER  
 Geographisches Institut, Universität Zürich,  
 Winterthurerstr. 190, CH-8057 Zürich  
 Tel.: 41-44-635 5152, Fax: 41-44-635 6848  
 e-mail: tumasch@geo.unizh.ch

Manuskript eingereicht: März 2007  
 Angenommen: April 2007

## Einsatz der Fourier Transformation zur Verbesserung der Klassifikationsgenauigkeit von teilschlagspezifischen Pflanzenschäden in Zuckerrübenflächen

KERSTIN VOß & GUNTER MENZ, Bonn

**Keywords:** Remote Sensing, classification, Fourier transformation, precision farming

**Zusammenfassung:** Innerhalb des Precision Farming gewinnen Fernerkundungsdaten bei der Erfassung von teilschlagspezifischen Informationen eine immer größere Bedeutung. Zur Erkennung und Identifizierung von Nematodennestern in Zuckerrübenflächen bietet sich daher der Einsatz von räumlich hoch auflösenden Color Infrarot (CIR) Luftbildern zur Ableitung von thematischen Befallskarten an. Am Beispiel eines Testgebietes werden die Probleme und Potentiale bei der Erstellung von Befallskarten auf der Grundlage von CIR-Luftbildern exemplarisch aufgezeigt. Besonderes Augenmerk liegt auf der Fast-Fourier-Transformation (FFT) zur Verbesserung des Klassifikationsergebnisses.

**Summary:** *Application of the Fast-Fourier-Transformation for the improvement of the classification accuracy of site-specific plant damage in sugar beet.* Recently the acceptance of remote sensing to gather information for Precision Farming applications increases. Due to the different reflection behavior of healthy and attaint sugar beets, it is possible to use color infrared aerial photographs (CIR) for the identification of infestation nests. For the optimal use of the CIR aerial images in agricultural practice a compilation into digital thematic maps is necessary. The study pointed out the problems and the potentials by the production of infestation maps using CIR images. Special attention lies on the Fast-Fourier-Transformation (FFT) for the improvement of the classification result.

### 1 Einleitung

Im Zuge des Wandels der konventionellen Landwirtschaft hin zu einer präzisen Bewirtschaftung kommt der räumlich genauen Erfassung von teilschlagspezifischen Pflanzenschäden eine immer größere Bedeutung zu (EBEL & GRAFF 1994). Infolgedessen stellen Informationen über die Variabilität der Ackerschläge die wichtigste Voraussetzung zur Umsetzung einer präzisen Landwirtschaft dar. Die Tatsache, dass 85 % der landwirtschaftlichen Tätigkeiten einen Raumbegzug haben (Schmidt 2001), unterstreicht die Bedeutung räumlicher Informationen zur teilschlagspezifischen Heterogenität der landwirtschaftlichen Schläge.

Bei der Erfassung der teilschlagspezifischen Informationen gewinnt der Einsatz von Fernerkundungsdaten aufgrund der flächenhaften Abbildung der Erdoberfläche und der zunehmenden räumlichen und zeitlichen Auflösung stetig an Bedeutung. Der Beitrag der Fernerkundung innerhalb des Precision Farming wird als eine Art „taktischer Feldinspektor“ (KÜHBAUCH 2002) gesehen, da über die Auswertung von Fernerkundungsdaten Teilflächen mit abnormen Erscheinungsbildern oder die fortlaufende Ausbreitung von Krankheiten und Schädlingen detektiert werden können. Diese „abnormen“ Erscheinungen umfassen neben Unterschieden in der Bodenfruchtbarkeit und Bodenfeuchtigkeit, Trockenheitsschä-

den, Verunkrautungen auch Krankheits- und Schädlingsbefall. In zahlreichen aktuellen Studien wird die Möglichkeit der sensorgestützten Detektion von teilschlagspezifischem Pathogenbefall in Pflanzenbeständen und der darauf abgestimmte Einsatz von Fungiziden dargestellt (APAN et al. 2004, MOSHOU et al. 2004, FRANKE et al. 2005).

Ein schwerwiegender Schädling im Zuckerrübenanbau in Mitteleuropa ist die Zuckerrübenematode „*Heterodera schachtii*“. Hierbei handelt es sich um einen sedimentären Endoparasit, einen im Boden lebenden Fadenwurm. Dieser parasitiert an den Zuckerrübenwurzeln und tritt in ortsfesten Nestern auf. Äußerlich tritt der Nematodenbefall in einem Zuckerrübenfeld durch das nesterweise Welken der Zuckerrüben in Erscheinung. Zudem bleiben stark befallene Pflanzen in ihrer Entwicklung stark zurück, sie sind kleiner als nicht befallene Pflanzen und ihre Blätter weisen eine hellere Grünfärbung auf. Die Wurzeln der befallenen Zuckerrüben sind stark zurückgeblieben und weisen einen Wurzelbart durch Nebenwurzelbildung auf.

Aufgrund des unregelmäßigen Vorkommens der Nematoden in Zuckerrübenflächen, gestaltet sich die Erfassung des Befalls mit konventionellen Methoden der Bodenprobenentnahme und -auswertung als schwierig und zeitintensiv. Infolgedessen bietet sich zur Erkennung und Identifizierung der Nematodennester der Einsatz von räumlich hochauflösenden Color Infrarot (CIR) Luftbildern an, da die befallenen Pflanzen durch die veränderte Färbung ihrer Blätter ein verändertes Reflexionsverhalten besitzen. Beispielsweise führte der „Landwirtschaftliche Informationsdienst Zuckerrübe“ (LIZ) in Elsdorf flächendeckende CIR-Befliegungen im Rheinland zur Detektion von Nematodennestern durch.

Damit die, in den Luftbildern enthaltenen Informationen, in der Praxis optimal genutzt werden können, ist eine Aufbereitung der Luftbilder in digitale thematische Karten notwendig.

Die Zielsetzung dieses Aufsatzes ist es, anhand eines Testgebietes, die Probleme und Potentiale bei der Erstellung von *Heterode-*

*ra-schachtii*-Befallskarten auf der Grundlage von CIR-Luftbildern exemplarisch aufzuzeigen. Besonderes Augenmerk liegt auf der Fast-Fourier-Transformation (FFT) zur Verbesserung des erzielten Klassifikationsergebnisses.

## 2 Theoretische Grundlagen der Fourier Transformation

Die Theorie der Fourier Transformation geht auf JEAN-BAPTISTE JOSEPH FOURIER zurück. In seinem 1822 veröffentlichtem Buch „*Die analytische Theorie der Wärme*“ gelang ihm der Beweis, dass jede eindimensionale Funktion  $f(x)$ , durch die Summe unendlich vieler Sinus- und Kosinusfunktionen und die zugehörigen Koeffizienten dargestellt werden kann. Die Transformation von Signalen in den Frequenzbereich beruht somit auf der Zerlegung aller Signale in harmonische Bausteinsignale, die Elementarsignale.

Die Fouriertransformation stellt heute ein fundamentales Verfahren in der Signalverarbeitung dar. In der digitalen Bildverarbeitung wird die Fourier Transformation zur Reduzierung des Rauschens in zweidimensionalen Rasterbildern, wie z. B. durch unsystematische und systematische Sensor-Anomalien hervorgerufene Streifen in Satellitenbildszenen, eingesetzt. Der Vorteil der Transformation vom Orts- in den Frequenzraum liegt darin, dass viele Operationen innerhalb der digitalen Bildverbesserung im Frequenzraum leichter durchführbar sind als im Ortsraum.

Die in ERDAS IMAGINE (Version 8.7) implementierte Fast-Fourier-Transformation (FFT) ist eine eindeutige mathematische Transformation, bei der ein Rasterbild in seine Frequenzbestandteile umgewandelt wird, ohne dass Bildinformation verloren geht (JENSEN 1996). Die Fast-Fourier-Transformation spaltet dabei das Bild in zwei Bestandteile, die Magnitude und die Phase, auf. Während die Filteroperationen im Magnitudenbild durchgeführt werden, dient die Phaseinformationen zur Rücktransformation (Inverse Fast-Fourier-Transformation – IFFT) des gefilterten Bildes in den Ortsraum (RICHARDS 1993, BÄHR & VÖGTLE 1998, Erdas Inc. 1999).



### 3 Untersuchungsgebiet und Datengrundlage

Bei der Testfläche handelt es sich um eine Zuckerrübenfläche mit einer Größe von 8,45 ha. Räumlich befindet sich diese Fläche in der Niederrheinischen Bucht, nördlich der Gemeinde Rommerskirchen (vgl. Abb. 1).

Als Datengrundlage wurde ein multispektrales CIR-Luftbild mit drei Kanälen im Wellenlängenbereich zwischen 0,4  $\mu\text{m}$  und 0,9  $\mu\text{m}$  verwendet. Aufgenommen wurde dieses Bild am 15.08 2001 gegen 11.30 Uhr aus 3000 m Höhe. Die räumliche Auflösung beträgt 0,7 m (vgl. Tab. 1).

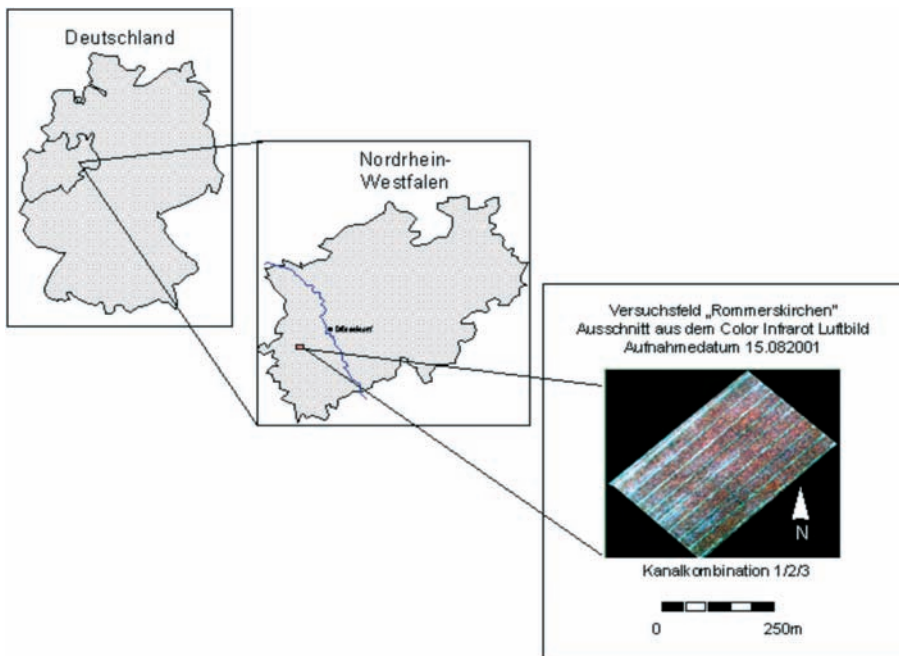
In Abb. 1 ist die Testfläche in Form eines Falschfarbenkomposits in der Kanalkombination 1/2/3 dargestellt. Bei dieser Kanalkombination erscheinen die gesunden Zuckerrübenflächen in roten Farbtönen, während die befallenen Zuckerrüben durch hellgrüne und hellblaue Farbtöne in Erscheinung treten. Die befallenen Bereiche können

**Tab. 1:** Technische Daten der CIR Luftbilder (Pfeifer & Langen).

Sensor	CCD Kamera
Aufnahmehöhe	3000 m über Grund
Zeitliche Auflösung	Variabel
Geometrische Auflösung	0,7 m
Spektrale Auflösung	Grün: 510–600 nm Rot: 630–690 nm NIR: 760–900 nm
Radiometrische Auflösung	8 Bit

somit, aufgrund der veränderten Reflexionseigenschaften der befallenen Zuckerrüben, bereits visuell gut von den gesunden und vitalen Zuckerrüben getrennt werden.

Zur Erfassung und zur Dokumentation des Nematodenvorkommens innerhalb der landwirtschaftlichen Fläche wurden Bo-



**Abb. 1:** Räumliche Lage des Untersuchungsgebietes „Rommerskirchen“ und seine Darstellung im CIR-Luftbild vom 15. 08. 2001 (Kanalkombination 1/2/3). Quelle Luftbild: Pfeifer & Langen, Werk Elsdorf.

denproben entnommen und die enthaltenen Eier und Larven pro 100 ml Boden gezählt. Die so gewonnenen Ground Truth Daten erlauben eine Aussage über die Intensität des Nematodenbefalls in der Testfläche. In den stark befallenen Teilbereichen des Zuckerrübenfeldes betrug die Anzahl der Eier und Larven 5247 pro 100 ml Boden, woraus eine Ertragseinbuße von 23% resultierte.

#### 4 Methode

Die Beurteilung der Probleme und Potentiale von CIR-Luftbildern bei der Erstellung von Nematodenbefallskarten erfolgt auf der Grundlage folgender Hypothese:

1. Aus CIR Luftbildern können Nematodenbefallskarten über eine Maximum-Likelihood-Klassifikation abgeleitet werden.
2. Sind parallel verlaufende Fahrstreifen im Luftbild enthalten, so kann das Klassifikationsergebnis verbessert werden, wenn vor der Maximum-Likelihood-Klassifikation eine Fast-Fourier-Transformation durchgeführt wird.

Methodisch teilt sich die Studie daher in zwei Schwerpunkte auf:

1. Durchführung einer Maximum-Likelihood-Klassifikation zur Ableitung einer Nematodenbefallskarte.
2. Kombination der Maximum-Likelihood-Klassifikation mit einer Fourier Transformation zur Verbesserung der Qualität der Befallskarte.

Zur Datenauswertung wurde das Programmpaket ERDAS/IMAGINE (Version 8.7) verwendet.

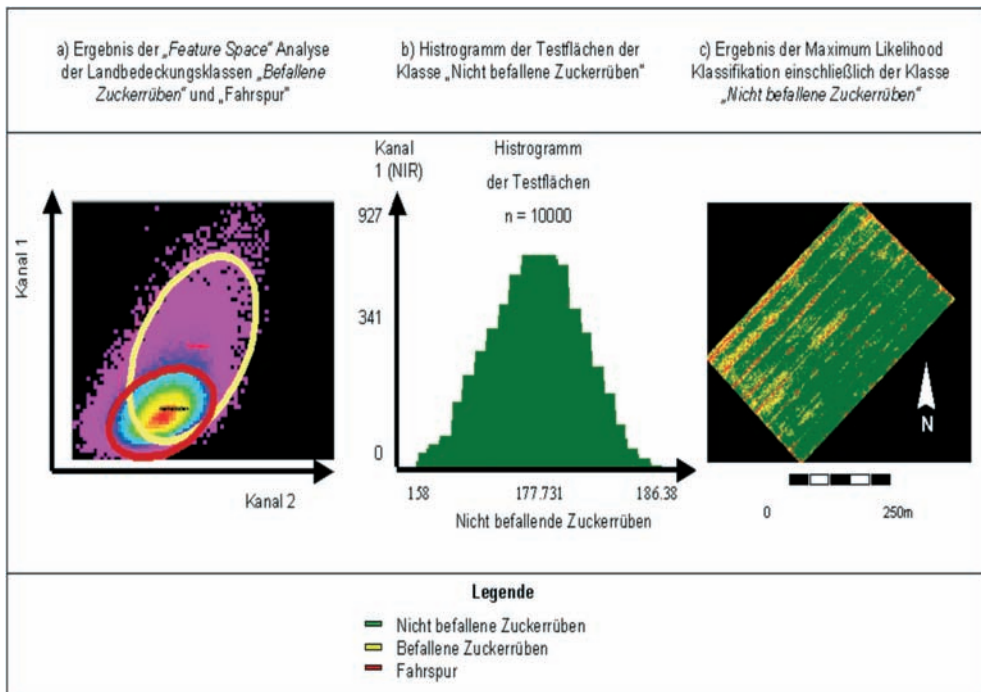
##### 4.1 Maximum-Likelihood-Klassifikation zur Ableitung einer Befallskarte

Zur Erzeugung einer digitalen Befallskarte des Versuchsfeldes wurde das Untersuchungsgebiet einer überwachten Maximum Likelihood Klassifikation, mit den drei visuell trennbaren Klassen „Zuckerrüben nicht befallen“, „Zuckerrüben befallen“ und

„*Fahrspur*“, unterzogen. Die Auswahl der Trainingsgebiete erfolgte unter den Gesichtspunkten der Homogenität, der Repräsentativität, der Trennbarkeit sowie einer ausreichenden Größe (CAMPBELL 1996, HILDEBRANDT 1996, LILLESAND & KIEFER 1999). Zur Gewährleistung einer hinreichenden Größe der Trainingsgebiete wurde eine Mindestgröße von 50 Pixeln ( $\cong 35 \text{ m}^2$ ) festgelegt. Im Anschluss wurden die Signaturen der Trainingsgebiete auf ihre spektrale Verteilung im Scattergramm überprüft. Da die Klassifikation über eine überwachte Maximum-Likelihood-Klassifikation erfolgte, wurde insbesondere auf die Normalverteilung der Spektralwerte geachtet. Im Ergebnis erfüllten 23 Trainingsgebiete die aufgestellten Anforderungen. Zur Bewertung der einzelnen Signaturen wurden diese in Form der Ellipsendarstellung, mit dreifacher Standardabweichung, im Feature Space näher analysiert. Trotz der sehr sorgfältigen Auswahl der Trainingsgebiete bestehen zwischen den Trainingsgebieten der Klassen „Zuckerrüben befallen“ und „*Fahrspur*“ Überschneidungen, die im Klassifikationsergebnis zu deutlichen Fehlzuweisungen führten (vgl. Abb.2). Im Klassifikationsergebnis werden sowohl Bereiche mit der Landbedeckung „Zuckerrüben befallen“ als „*Fahrspur*“ klassifiziert als auch Fahrspuren als Zuckerrüben mit Nematodenbefall.

Die ähnlichen spektralen Signaturen der Landbedeckungen „*Fahrspur*“ und „Zuckerrüben befallen“ lassen sich durch den Welkprozess der befallenen Zuckerrüben erklären. Die Blätter der befallenen Pflanzen sind dadurch kleiner und hängen zu Boden. Dies hat zur Folge, dass Mischpixel entstehen, die sich aus den spektralen Signaturen der „befallenen Zuckerrüben“ und dem „Boden“ zusammensetzen.

Zur Bewertung der Klassifikationsgenauigkeit wurde das Klassifikationsergebnis einem „Accuracy Assessment“ mittels Zufallspunkten unterzogen. Hierzu wurden jeweils 100 zufällige Punkte gesetzt und deren wirkliche Landbedeckung anhand der Ground Truth Daten überprüft. Über die so erzeugte Error-Matrix wurde ein „Accuracy-Report“ abgeleitet. Die Gesamtgenauig-



**Abb. 2:** Darstellung der spektralen Signaturen der Trainingsgebiete der Klassen „befallene Zuckerrüben“ & „Fahrspur“ im Feature Space sowie das Klassifikationsergebnis der Maximum-Likelihood-Klassifikation mit drei Landbedeckungsklassen. Quelle Luftbild: Pfeifer & Langen, Werk Elsdorf.

keit der Klassifikation beträgt 82%. Betrachtet man die Genauigkeit der einzelnen Klassen, so werden vor allem bei den beiden Landbedeckungsklassen „Zuckerrüben befallen“ und „Fahrspur“ deutlich geringere Genauigkeiten von 55% bzw. 57,44% erreicht (vgl. Tab. 2).

**Tab. 2:** Nutzergenauigkeit der überwachten Maximum-Likelihood-Klassifikation des Untersuchungsgebietes „Rommerskirchen“.

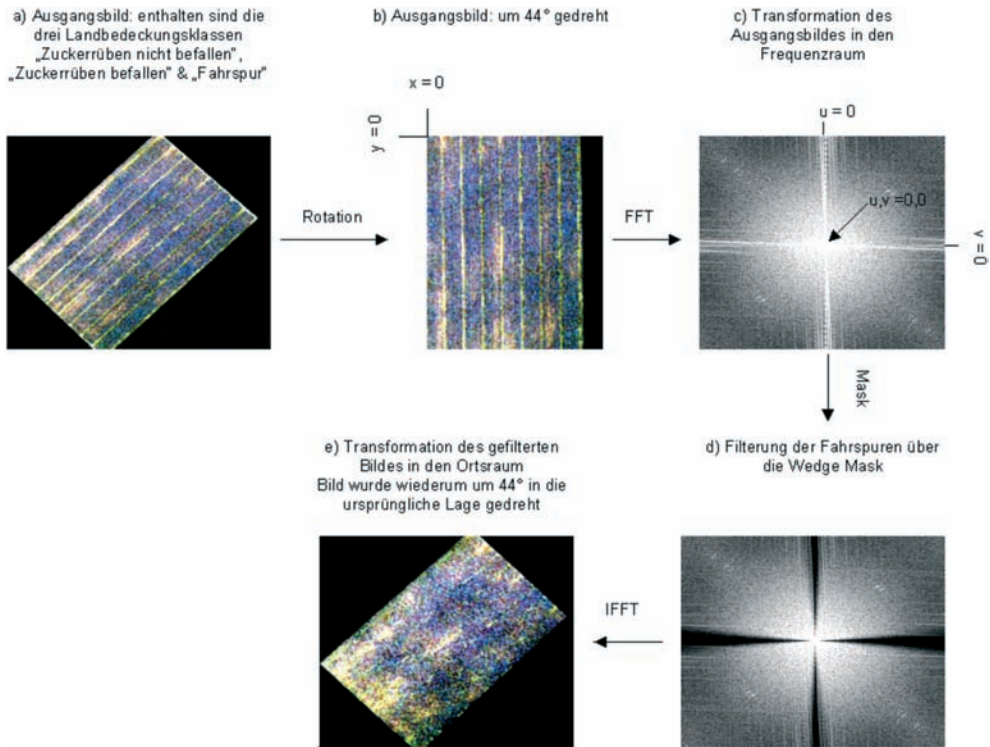
Landnutzungsklassen	Nutzergenauigkeit Klassifikation mit drei Klassen
Zuckerrüben nicht befallen	91,8%
Zuckerrüben befallen	55 %
Fahrspur	57,4%
<b>Gesamtgenauigkeit</b>	<b>82 %</b>

#### 4.2 Fourier Transformation zur Verbesserung der Klassifikationsgenauigkeit

Die Erfassung der Landbedeckungsklasse „Fahrspur“ hat für die landwirtschaftliche Praxis keinen wirtschaftlichen Nutzen. Daher wurde der Maximum-Likelihood-Klassifikation eine Fast-Fourier-Transformation vorgeschaltet, um zu prüfen, ob die Landbedeckungsklasse „Fahrspur“ aus dem Bild herausgefiltert werden kann.

Damit sich der Anfangspunkt des Subsets in der oberen linken Ecken befindet und keine Pixel mit störenden Bildhintergrund in die Filterung eingeht, wurde das Ausgangsbild vor der Transformation um 44° in die Senkrechte gedreht. Durch die Fouriertransformation vom Orts- in den Frequenzraum wird dieser Anfangspunkt in den Mittelpunkt verschoben. Abb. 3 zeigt, dass das erzeugte „Fourier Magnitude Bild“ einen





**Abb. 3:** Darstellung der Arbeitsschritte zur Eliminierung der Landbedeckungsklasse „Fahrspur“ aus dem Color Infrarot Luftbild. Quelle Luftbild: Pfeifer & Langen, Werk Elsdorf.

symmetrischen Aufbau um den Bildmittelpunkt mit den Koordinaten  $u, v = 0, 0$  aufweist (vgl. Abb. 3c). Um den Mittelpunkt des Fourier Bildes befinden sich die niedrigen Frequenzen, oder anders ausgedrückt jene Bildbereiche des Ortsbildes, wo über eine größere Pixeldistanz ein niedrigerer Unterschied in den Grauwerten besteht. Die Bereiche der höheren Frequenzen liegen weiter vom Mittelpunkt entfernt. Diese Bereiche sind durch einen größeren Unterschied in den Grauwerten auf kurzen Pixeldistanzen charakterisiert.

Durch die Transformation des Untersuchungsgebietes vom Ortsraum in den Frequenzraum erscheinen die im ursprünglichen Bild enthaltenen parallel verlaufenden Fahrspuren in Form von radialen, hellen Linien (vgl. Abb. 3c). Diese Linien konnten über die Funktion „Wedge Mask“, eine keilförmige Maskierung, zufrieden stellend aus dem Bild gefiltert werden. Durch die Filter-

operation erscheinen die maskierten Bereiche im „Frequenz Magnituden Bild“ schwarz (vgl. Abb. 3d). Anschließend wurde das Bild über die Inverse Fast-Fourier-Transformation (IFFT) aus dem Frequenzraum in den Ortsraum zurücktransferiert und in die ursprüngliche Lage gedreht. Das Ergebnis zeigt, dass durch die Filteroperation im Frequenzraum die Fahrstreifen aus dem Bild erfolgreich herausgefiltert werden konnten (vgl. Abb. 3e).

Im Anschluss wurde das gefilterte Bild einer überwachten Maximum Likelihood Klassifikation, nun mit den zwei Landbedeckungsklassen „Zuckerrüben befallen“ und „Zuckerrüben nicht befallen“, unterzogen. Diese beiden Klassen weisen aufgrund des Nematodenbefalls ein deutlich unterschiedliches spektrales Verhalten auf. Zur Überprüfung der Trennbarkeit der beiden Klassen wurde neben der Analyse im Feature Space auch das Trennbarkeitsmaß der

**Tab. 3:** Vergleich der Nutzergenauigkeit der Klassifikationsergebnisse vor und nach Durchlauf der Fast Fourier Transformation.

Landnutzungsklassen	Nutzergenauigkeit Klassifikation ohne vorhergehender Fourier Analyse mit drei Klassen (in %)	Nutzergenauigkeit Klassifikation mit vorhergehender Fourier Analyse mit zwei Klassen (in %)
Zuckerrüben nicht befallen	91,78	95,6
Zuckerrüben befallen	55,00	88,9
Fahrspur	57,44	
<b>Gesamtgenauigkeit</b>	<b>82</b>	<b>95</b>

Jeffries-Matusita-Distanz berechnet. Diese Trennbarkeitsanalyse verwendet zur Berechnung der Trennbarkeit sowohl die Mittelvektoren als auch die Kovarianzmatrix (RICHARDS 1993). Die Jeffries-Matusita-Distanz weist einen Wertebereich von 0 bis 1414 auf, wobei der Wert 0 eine Untrennbarkeit, der Wert 1414 eine maximale Trennbarkeit der spektralen Signaturen beschreibt. Für die beiden Landbedeckungsklassen „Zuckerrüben befallen“ und „Zuckerrüben nicht befallen“ wurde ein Wert von 1410 ermittelt.

Da keine Aussage darüber möglich ist, ob die Bereiche der Fahrspuren flächenmäßig der Klasse der „gesunden Zuckerrüben“ oder der „befallenen Zuckerrüben“ zugeordnet wurden, wurde im Anschluss an die Klassifikation ebenfalls eine Bewertung der Klassifikation mittels Zufallspunkten durchgeführt (s. o.). Die Nutzergenauigkeit für die beiden Klassen „Zuckerrüben nicht befallen“ und „Zuckerrüben befallen“ beträgt 95,5% bzw. 88,89% (vgl. Tab. 3). Der Vergleich mit der Klassifikation des ungefilterten Bildes zeigt somit eine deutlich bessere Erfassung der Nematodennester.

## 5 Fazit

Die Studie zeigt, dass durch eine der Maximum Likelihood Klassifikation vorgeschaltete Fourier-Transformation eine genauere Nematodenbefallskarte aus den CIR-Luftbildern abgeleitet werden kann, indem die „bedeutungslose“ Landbedeckungsklasse „Fahrspur“ aus dem Bild gefiltert wird. Die

erstellte Karte kann somit als verbesserte und detailliertere Grundlage für die teil-schlagspezifische Bekämpfung von Nematoden in Zuckerrübenflächen genutzt werden.

## Danksagung

Die Studie ist im Rahmen des DFG-Graduiertenkollegs „Einsatz von Informationstechniken zur Präzisierung des Pflanzenschutzes auf landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Flächen“ entstanden. Die Luftbilder sowie Ground Truth Informationen über die Befallsdichte mit Nematoden wurden vom Landwirtschaftlichen Informationsdienst Zuckerrübe (LIZ) und dem Werk Pfeifer & Langen in Elsdorf (<http://www.liz-online.de/>) zur Verfügung gestellt.

## Literatur

- APAN, A., HELD, A., PHINN, S. & MARKLEY, J., 2004: Detecting sugarcane 'orange rust' disease using EO-1 Hyperion hyperspectral imagery. – *International Journal of Remote Sensing*, **25**(2): 489–498.
- BÄHR, H.-P. & VÖGTLE, T., 1998: Digitale Bildverarbeitung – Anwendungen in Photogrammetrie, Kartographie und Fernerkundung. – 3. Aufl., 401 S., Wichmann Verlag, Heidelberg.
- CAMPBELL, J.B., 1996: Introduction to Remote Sensing. – 2. Aufl., 622 S., Guilford Press, London.
- EBEL, M. & GRAFF, M., 1994: Die Satellitendüngung kann sich rechnen. – *DLG-Mitteilungen*, 1994 (8): 37–39.
- Erdas Inc., 1999: The ERDAS Field Guide. – 5. Aufl., 672 S., Atlanta.

- FRANKE, J., MENZ, G., OERKE, E.-C. & RASCHER, U., 2005: Comparison of multi- and hyperspectral imaging data of leaf rust infected wheat plants. – Conference Proceedings of SPIE-European Remote Sensing Symposium, (5976–50): 1–11.
- HILDEBRANDT, G., 1996: Fernerkundung und Luftbildmessung für Forstwirtschaft, Vegetationskartierung und Landschaftsökologie. – 1. Aufl., 676 S., Wichmann Verlag, Karlsruhe.
- JENSEN, J.R., 1996: Introductory digital image processing: A remote sensing perspective. – 2. Aufl., 318 S., Prentice-Hall, New Jersey.
- KÜHBAUCH, W., 2002: Fernerkundung – eine Zukunftstechnologie im Präzisionspflanzenbau. – In: WERNER, A. & JARFE, A. (Hrsg.): Precision Agriculture – Herausforderung an die integrative Forschung, Entwicklung und Anwendung in der Praxis. – KTBL Sonderveröffentlichung (038): 79–87.
- LILLESAND, T.M. & KIEFER, R.W., 1999: Remote sensing and image interpretation. – 4. Aufl., 736 S., John Wiley & Sons, New York.
- RICHARDS, J.A., 1993: Remote sensing digital image analysis. An introduction. – 3. Aufl., 334 S., Springer, Berlin.
- SCHMIDT, T., 2001: Geoinformationen – Digitale Geodaten, Fernerkundung, GPS und GIS – in der modernen Landwirtschaft. – 11. Internationale Geodätische Woche, 18.-24.02. 2001. Obergurgl, (abrufbar unter: <http://138.232.151.1/ifg/download/Schmidt.pdf>, letzter Zugriff 16.01. 2007).

#### Anschriften der Autoren:

Dr. KERSTIN VOß  
Geographisches Institut, Universität Bonn  
Meckenheimer Allee 166, 53115 Bonn  
Tel.: 0228-73-9705, Fax: 0228-73-9702  
e-mail: [k.voss@geographie.uni-bonn.de](mailto:k.voss@geographie.uni-bonn.de)

Prof. Dr. GUNTER MENZ  
Tel.: 0228-73-9700, Fax: 0228-73-9702  
e-mail: [menz@rsrg.uni-bonn.de](mailto:menz@rsrg.uni-bonn.de)

Manuskript eingereicht: November 2006  
Angenommen: Dezember 2006

## Entwicklung und Raumwirkung des deutschen Autobahnnetzes

GOTTHARD MEINEL, SASCHA REICHERT & WINFRIED KILLISCH Dresden

**Keywords:** GIS, motorway development, land use change, environmental impact, prediction, landscape fragmentation

**Zusammenfassung:** Deutschland verfügt mit mehr als 12.000 Kilometern über das zweitgrößte Autobahnnetz nach den USA und eines der dichtesten weltweit. Neben den verkehrlichen und wirtschaftlichen Wirkungen sind die Umweltwirkungen des Autobahnnetzes nicht zu vernachlässigen. In dem Beitrag werden die Ergebnisse einer quantitativen räumlichen Analyse der Entwicklung unter Aspekten der Umweltwirkung des deutschen Autobahnnetzes vorgelegt. Sie umfassen die Darstellung der Längenentwicklung sowie der Flächennutzungsänderungen an Autobahn-Anschlussstellen, die sich in den meisten Fällen durch massive Siedlungsentwicklung in kurzer Zeit nach Fertigstellung ergeben.

Weiterhin werden die Zerschneidungseffekte, die bei Autobahnen durch die fast unüberwindliche Trennwirkung besonders massiv sind, quantifiziert. Letztlich werden auch die Bodenversiegelungs- und Lärmefekte im Zusammenhang mit der Autobahnentwicklung berechnet und bewertet. Im Ergebnis der Untersuchungen können die Flächenentwicklungen an geplanten Autobahntrassen in Zukunft in Abhängigkeit des siedlungsstrukturellen Typs der Region auf Basis der berechneten Mittelwerte aus der Vergangenheit prognostiziert werden. Dies ist von besonderer Bedeutung, wird doch bis 2015 im Bundesverkehrswegeplan 2003 ein weiterer Autobahnausbau um ca. 1.900 km geplant.

**Summary:** *Development of the German motorway network and its spatial and environmental impact.* With its more than 12.000 km of motorways Germany owns one of the most dense motorway network in the world and the second largest right after the USA. Beside the impact to traffic and economy the environmental impact is important. In this article we present the results of a quantitative spatial analysis of the development and aspects how the German motorway network influences the environment. We include the description of the road length development and the changes in land use around motorway junctions which most of the time is the result of extreme settlement shortly after completion.

Further the landscape fragmentation which is extremely present because of the insuperable separation impact of motorways is quantified. And finally effects regarding sealed areas and the noise impact are calculated and evaluated in context of motorway construction. The result of the survey will show that in future the development of areas around planned motorways can be predicted on the basis of the calculated average from the past depending on the structure of settlement types. This fact is of special importance considering that until 2015 the Road Planning Program 2003 (Bundesverkehrswegeplan) issued by the German Government has scheduled an expansion of the motorway network about 1,900 km.

### 1 Problem- und Zielstellung

Eine leistungsfähige Verkehrsinfrastruktur ist grundlegende Voraussetzung für eine moderne Volkswirtschaft. Bisher spielen in der Planung neuer Autobahntrassen in erster Linie verkehrliche Aspekte eine Rolle. Da-

rüber hinaus werden aber im Bundesverkehrswegeplan 2003 (BVWP) auch wirtschaftliche Effekte neuer Autobahnen (Beschäftigung durch Bau und Betrieb) sowie die Umweltwirkungen geplanter Trassen (Lärm, Schadstoffbelastung, Schwingungen, Versiegelung und Trennwirkung) in der

konkreten Trassenplanung berücksichtigt (Grundzüge der gesamtwirtschaftlichen Bewertung des Bundesverkehrswegeplanes 2003, 2002). Kaum wissenschaftlich untersucht sind bisher die an Autobahn-Anschlussstellen und -Zubringern induzierten Standortentwicklungen von Industrie, Gewerbe und Wohnen und ihre damit einhergehenden Flächennutzungsänderungen. Ausnahmen stellen hier die Arbeiten von LUTTER (1981) und GATHER (1999) dar.

So ist auch die Einschätzung der induzierten Flächenentwicklung infolge verkehrsinfrastruktureller Erweiterungen nicht Gegenstand der Planungsverfahren, obwohl diese Wirkung augenfällig und seitens der Wirtschaftsförderung auch gewollt ist. Grundlage für eine Bestimmung der Flächennutzungsstruktur von Autobahntrassen können GIS-gestützte Analysen auf Basis geeigneter Flächennutzungsdaten und der Geometrien von Autobahntrassen sein. Ziel der vorliegenden Untersuchung ist die Erarbeitung von Grundlagenwissen zum Thema Raumwirkung von Autobahntrassen. Dieses ist auch für die Prognose der Flächenwirkung geplanter Trassen hilfreich. Die praktische Relevanz dieser Untersuchungen ist angesichts der Planung von 1.900 km Autobahntrassen in Deutschland bis 2015 (Bundesverkehrswegeplan 2003) und den geplanten Ausbau des Transeuropäischen Netzes für Verkehrsinfrastruktur TEN (Leitlinien für eine nachhaltige räumliche Entwicklung auf dem europäischen Kontinent 2000), welches u. a. sehr umfangreiche Autobahnneubauten in Osteuropa vorsieht, in hohem Maße gegeben.

## 2 Datengrundlage und Methodik

Zur Lösung der Aufgabenstellung wurde ein Geoinformationssystem „Autobahnnetz Deutschlands und seine Entwicklung“ aufgebaut. Es basiert auf der Grundlage der Autobahn-Geometrien des Straßennetzes für die Bundesrepublik Deutschland von der infas GEODaten GmbH. Dieser Datenbestand wurde um Autobahnneubaustrecken bis zum Fertigstellungsdatum 2005 ergänzt. Weiterhin wurden die ca. 2.146 Bundesauto-

bahn-Anschlussstellen (BAB-AS) auf Grundlage der Autobahn-Geometrien und dem Internetkartendienst [www.map24.de](http://www.map24.de) erfasst. In einem Attributfeld wurde das Jahr der Freigabe des jeweiligen Autobahnabschnittes aufgezeichnet. Dieses erfolgte auf Grundlage der Informationen der Internetseite [www.autobahn-online.de](http://www.autobahn-online.de), die wiederum auf die Straßenbauberichte zurückgreifen. Da diese Autobahnfertigstellungen erst ab 1971 und teilweise auch nur lückenhaft ausgewiesen sind, musste der Datenbestand anhand historischer Straßenatlanten und -karten vervollständigt werden. Auf eine Differenzierung der Spuranzahl und weiterer Ausbauinformationen, die in den Straßenbauberichten enthalten sind, wurde im Rahmen der Aufgabenstellung verzichtet. Zusätzlich wurden die geplanten Autobahnstrecken bis 2015 auf Grundlage des BVWP 2003 digitalisiert.

Für die Untersuchung der Veränderung der Flächennutzung waren Daten verschiedener Zeitpunkte notwendig. Diese mussten einerseits räumlich kleinteilig (disaggregiert) und andererseits deutschlandweit verfügbar sein. Hier zeigte sich wieder der Mangel an Flächennutzungsdaten, die aber für GIS-gestützte Langzeitstudien notwendig sind. Einzig kamen der Datensatz zur Bodenbedeckung des statistischen Bundesamtes (1997) sowie CORINE-Land-Cover-Daten (CLC 2000) für Deutschland (2004) des Umweltbundesamtes in Betracht, die im Rahmen des europäischen Projekts CORINE Land Cover erhoben wurden. Damit stehen aber nur die Zeitschnitte 1990 und 2000 zur Verfügung, eine Analyse der Flächennutzungsentwicklung infolge des Autobahnbaus ist darum nur in diesem und nicht dem gesamten Analysezeitraum von 70 Jahren möglich. Die Aufzeichnung der Dynamik der Flächennutzungsentwicklung infolge des Autobahnbaus wäre allerdings durch Nutzung historischer Luft- und Satellitenbilddaten nach visueller Flächennutzungskartierung möglich.

Die Flächennutzung bzw. Bodenbedeckung wurde in dem CLC-Datensatz in einem Maßstab von 1 : 100.000 in 44 Klassen, angeordnet in 4 Hierarchieebenen, zu den

Erhebungszeitpunkten 1990 und 2000 erfasst (Corine Land Cover (CLC) – Technical Guide 1997). Durch die festgelegte Mindestgröße der Flächeneinheiten von 25 ha sind kleinteilige Strukturen, wie z. B. kleine Siedlungskörper, etwas unterrepräsentiert (SIEDENTOP & MEINEL 2004).

Besonders wichtig für die nachfolgenden Betrachtungen ist die CORINE-Klasse „Städtisch geprägte Flächen“ (11), die im Wesentlichen Wohnbauflächen repräsentieren. Weiterhin wird die CLC-Klasse „Industrie- und Gewerbefläche“ (121) betrachtet. Die CLC-Klassen „Straßen und Eisenbahn“ (122), „Hafengebiete“ (123) und „Flughäfen“ (124) wurden zur Klasse „Verkehrsinfrastruktur“ zusammengefasst. Die CLC-Klasse „Bebaute Fläche“ (1) entspricht der vollständigen Siedlungsfläche und enthält neben der Gewerbe-, Industrie-, Wohn- und Verkehrsinfrastrukturfläche auch Abbauflächen/Deponien und städtische Grün-, Sport- und Freizeitanlagen.

### 3 Längenentwicklung des deutschen Autobahnnetzes

Durch Auswertung des Attributs „Freigabe“ für jeden Autobahnabschnitt (gelegen jeweils zwischen 2 Anschlussstellen) konnte die Längenentwicklung des deutschen Autobahnnetzes analysiert und visualisiert wer-

den (Abb. 1). Die Entwicklung des inzwischen auf eine Gesamtlänge von 12.200 km mit 2.146 Anschlussstellen (Stand: 12/2005) angestiegenen Netzes erfolgt in West- und Ostdeutschland sehr unterschiedlich. Deutlich wird der starke Streckenzuwachs am Ende der 60er bis Mitte der 70er Jahre (Maximum 1975 mit fast 500 km Autobahnneubaustrecke), der letztlich auch auf das hohe deutsche Wirtschaftswachstum in diesem Zeitraum zurückzuführen ist. Der Ausbau der Autobahnen gestaltet sich, wie Abb. 2 zeigt, noch bis 2015 weiter sehr dynamisch (Bundesverkehrswegeplan 2003).

### 4 Erreichbarkeitsentwicklung

Mit der Trassenentwicklung gingen natürlich eine Verbesserung der Erreichbarkeit der nächstgelegenen Autobahn-AS und damit insgesamt eine Reisezeitverkürzung einher. Diese Entwicklung wurde zur räumlichen Visualisierung sehr kleinteilig auf Rasterbasis und für eine generelle Analyse der Entfernung der Siedlungsräume zu den Autobahnen auf Vektorbasis (Luftlinienentfernung Gemeindeflächensmittelpunkt zur nächstgelegenen BAB-AS) im zeitlichen Abstand von 5 Jahren berechnet. Letztlich wurde noch auf Basis einer Netzwerkanalyse unter Zugrundelegung des Straßennetzes die Fahrzeit berechnet.

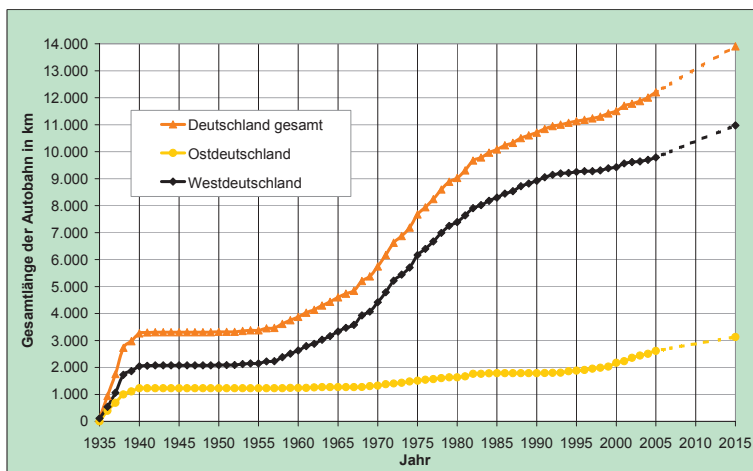
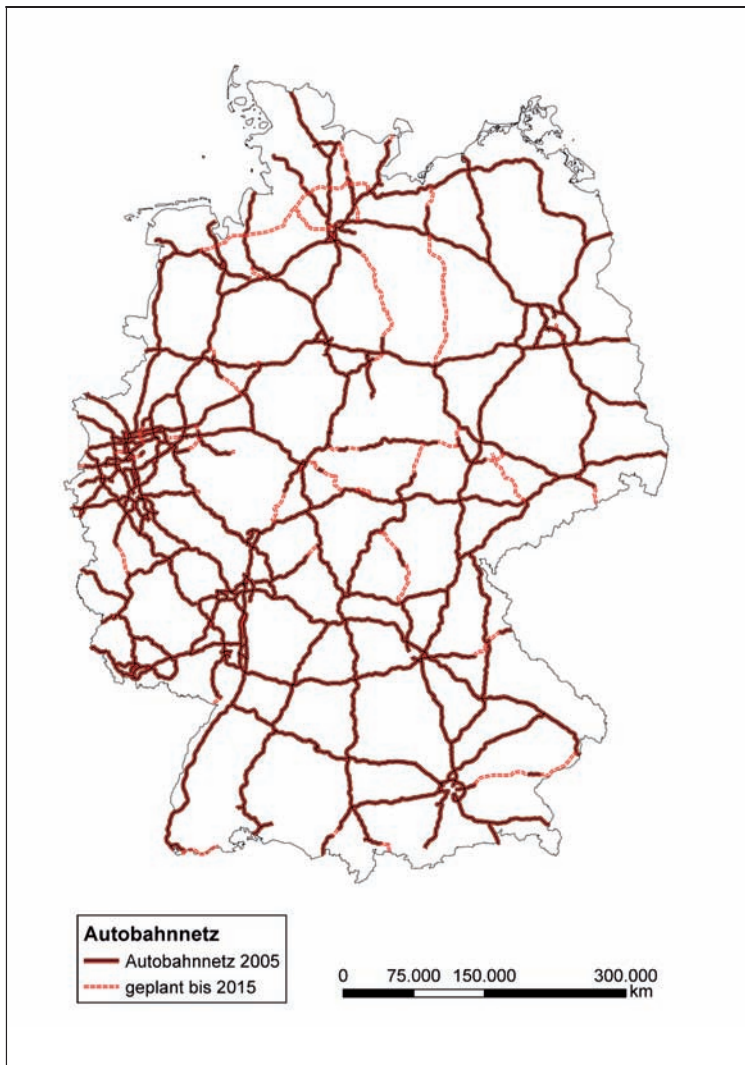


Abb. 1: Längenentwicklung des deutschen Autobahnnetzes (2005–2015 nach BVWP 2003).



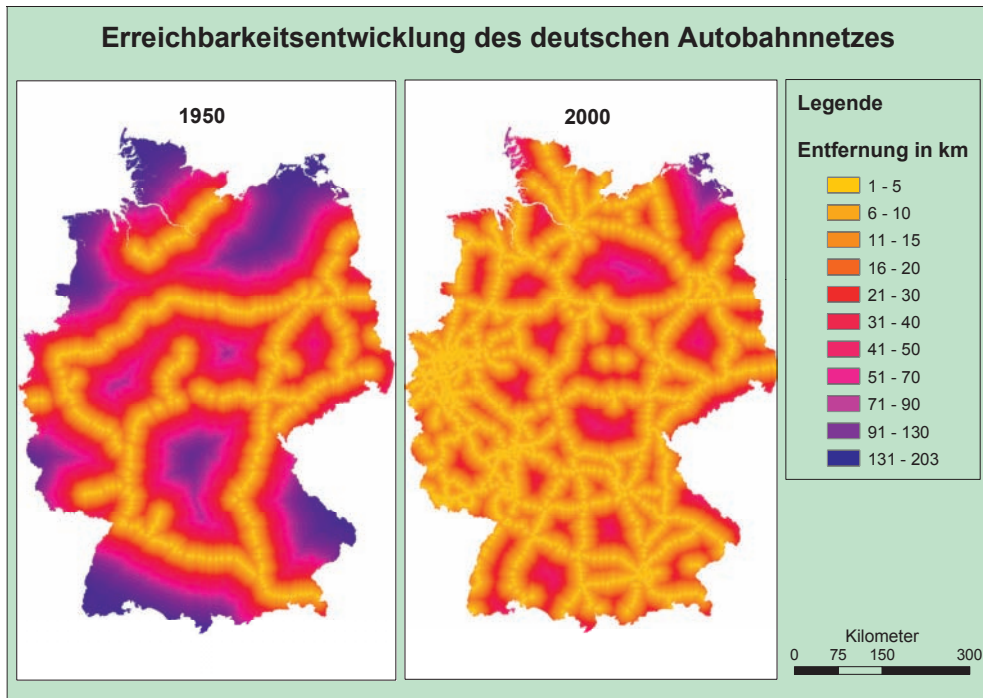


**Abb. 2:** Autobahnnetz Deutschland einschließlich geplanter Trassen bis 2015 (BVWP 2003).

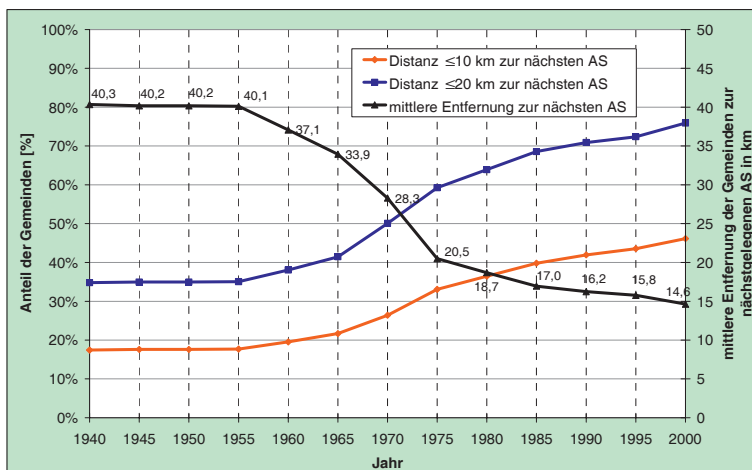
#### 4.1 Entfernung zur nächstgelegenen Anschlussstelle (Rastermodell)

Abb. 3 zeigt die Luftlinienentfernung zum nächstgelegenen Autobahn-AS im Vergleich der Jahre 1950 und 2000 für die Bundesrepublik Deutschland. Grundlage der Berechnung ist eine „Cost-Distance-Analyse“ auf einer Rasterzellengröße von  $1 \times 1 \text{ km}^2$ . Diese Abbildung verdeutlicht nicht nur die stark

verbesserte Erschließungsqualität, sondern auch eine Verschiebung des Schwerpunktes des Autobahnnetzes vom Osten Deutschlands (radiale Verbindungen ausgehend von der ehemaligen Reichshauptstadt Berlin) hin zum Westen (Ruhrgebiet) im Verlauf der letzten 50 Jahre.



**Abb. 3:** Erreichbarkeit der Autobahn in Deutschland im Vergleich der Jahre 1950 und 2000 (minimale Luftlinienentfernung zum nächsten Autobahn-AS berechnet auf einer Rasterzellengröße von 1 km × 1 km).



**Abb. 4:** Entwicklung der Erreichbarkeit der Autobahn (Luftlinienentfernung des Bebauungsmittelpunktes der Gemeinde zur nächstgelegenen Anschlussstelle im Jahr 2000 – mittlere Entfernung und Anteil der Gemeinden mit Distanz ≤ 10 bzw. ≤ 20 km).

#### 4.2 Entfernung zur nächstgelegenen Anschlussstelle (Gemeindebezug)

Die Entwicklung der Erreichbarkeit wurde weiterhin auch auf Basis aller 14.000 Gemeinden (Stand: 2000) ausgehend von dem Bebauungsmittelpunkt bis zum nächstgelegenen Autobahn-AS (Luftlinie) berechnet (Abb. 4). Die Berechnung erfolgte auf Basis des Gebietsstandes 2000, die durchweg kleinteiligere frühere Gemeindegliederung wurde dabei auf den aktuellen Gebietsstand aggregiert und bereinigt. Die mittlere Entfernung vom Bebauungsmittelpunkt der Gemeinden zum nächstgelegenen Autobahn-AS verkürzte sich von 40,3 km im Jahr 1940 auf 14,6 km im Jahr 2000. 46,1% der Gemeinden haben im Jahr 2000 einen AS in maximal 10 km und 75,9% in maximal 20 km Luftlinienentfernung.

#### 4.3 Fahrzeit zur nächstgelegenen Autobahn-Anschlussstelle

Letztlich noch wurde die Erreichbarkeitsentwicklung auf Basis des Straßennetzes Deutschlands (infas GEOdaten GmbH; Stand: 1998) berechnet (Abb. 5). Dazu wurde eine GIS-gestützte Netzwerkanalyse mittels ArcGIS Network Analyst (ESRI) durchgeführt. Grundlagen der Analysen waren neben dem deutschen Straßennetz

auch die Bebauungsmittelpunkte der Gemeinden (Gebietsstand 2000). Da die zugrunde liegenden Straßendaten keine Gemeindestraßen beinhalteten, mussten die Bebauungsmittelpunkte mithilfe einer berechneten kürzesten Linie in das gegebene Straßennetz eingepasst werden.

Zur Berechnung der Fahrzeit musste eine Annahme zu den Durchschnittsgeschwindigkeiten, auf den verschiedenen Straßenabschnitten, getroffen werden: Innerorts Bundesstraße 35 km/h, andere Straßenarten 25 km/h; Außerorts: Bundesstraße 70 km/h, andere Straßenarten 60 km/h (Quelle: Mittelwerte Routenplaner).

Die Netzwerkanalyse erfolgte für die Zeitschnitte 1950, 1960, 1970, 1980, 1985, 1990, 2000 und 2005. Zur besseren Vergleichbarkeit der Analyseergebnisse sind die Bebauungsmittelpunkte und das Straßennetz nur eines konkreten Zeitschnittes (2000 und 1998) in die Berechnungen eingeflossen. Bei den Berechnungen wurden nicht die zeitlichen Veränderungen der Straßennetzdichte sowie deren jeweiliger Ausbauzustand und auch nicht die Veränderungen der Siedlungsentwicklung seit 1950 berücksichtigt.

Aus Abb. 5 ist zu entnehmen, dass es erhebliche Unterschiede in den benötigten Fahrzeiten zur nächsten Autobahn-Anschlussstelle in den verschiedenen Raumka-

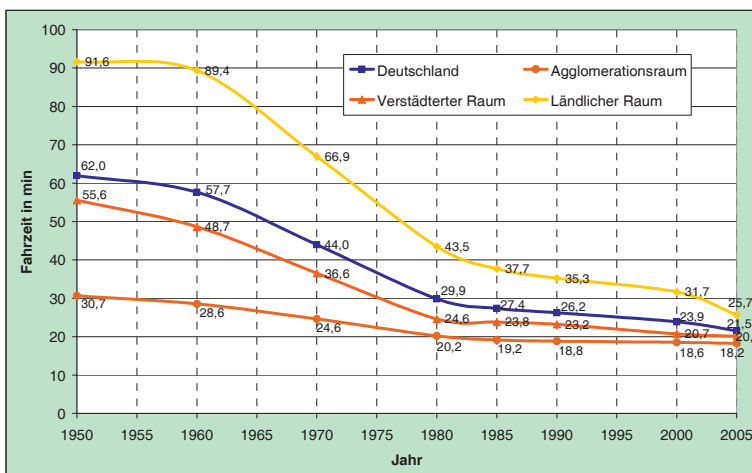


Abb. 5: Durchschnittliche Fahrzeiten vom Bebauungsmittelpunkt einer Gemeinde zur nächsten Autobahn-Anschlussstelle.

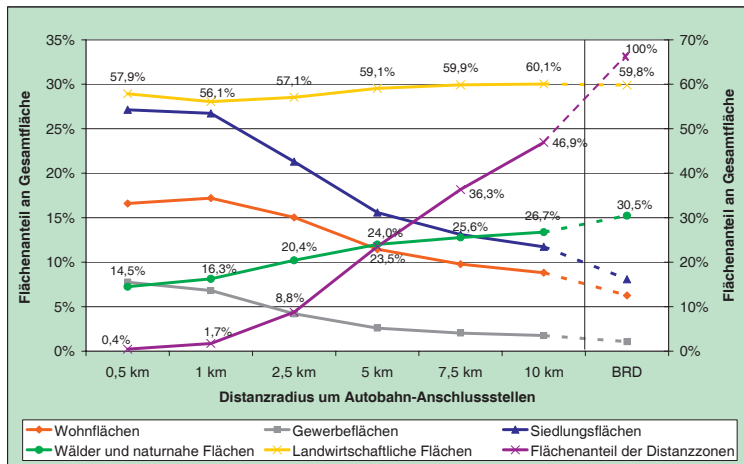


Abb. 6: Flächennutzungsprofile in Kreiszonen unterschiedlicher Größe um BAB-AS (Datengrundlage: CORINE Land Cover 2000).

tegorien gibt. Während im ländlichen Raum im Jahr 1950 noch eine Fahrzeit von 92 min benötigt wurde, war es im Agglomerationsraum nur eine Fahrzeit von 31 min. Durch den massiven Ausbau des Autobahnnetzes bis 2005 wurde besonders eine Verbesserung der Verkehrsinfrastruktur in den strukturschwachen ländlichen Räumen erreicht, währenddessen der Autobahnausbau der letzten 15 Jahre im Agglomerationsraum kaum eine Fahrzeitverbesserung bewirkte.

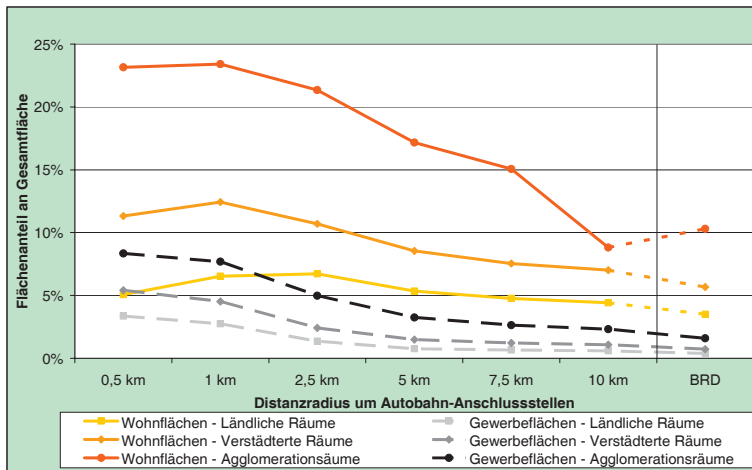
### 5 Flächenwirkung des Autobahnnetzes

Siedlungsentwicklungen erfolgen nach Fertigstellung neuer Autobahnabschnitte bevorzugt in räumlicher Nähe zu Anschlussstellen, da hier die Erreichbarkeitsvorteile besonders stark sind. Um diese Annahme zu prüfen, wurde die Flächennutzung durch Verschneidung des CLC-Flächennutzungsdatensatzes mit Kreiszonen unterschiedlicher Radien um Autobahn-Anschlussstellen analysiert (Abb. 6). Deutlich wird der wesentlich höherer Siedlungsflächenanteil (CLC-Klasse „Bebaute Fläche“) in Autobahnnähe gegenüber dem bundesdeutschen Durchschnitt.

So fällt der Anteil von 27,1% in der 0,5-km-Zone mit zunehmender Größe der

Kreiszonen auf den Gesamtdurchschnittswert von 8,1% und liegt damit um den Faktor 3 in unmittelbarer Autobahnumgebung über dem Bundesdurchschnitt. Noch stärker fällt diese Tendenz für die Gewerbe- und Industrieflächen aus (CLC-Klasse „Industrie- und Gewerbe“), deren Anteil von 6,7% auf 0,9% im Bundesdurchschnitt fällt (Faktor 7!). Der Waldflächenanteil (CLC-Klasse „Wald und naturnahe Fläche“) ist in Autobahnnähe mit 14,5% nur halb so hoch wie im gesamtdeutschen Durchschnitt (30,5%) während der Anteil Landwirtschaftsfläche (CLC-Klasse 2) mit knapp 60% über die verschiedenen Distanzzonen nahezu konstant ist.

Werden die Flächennutzungsprofile nach den siedlungsstrukturellen Regionstypen des BBR (2005) differenziert, so ergibt sich ebenfalls eine eindeutige Tendenz (Abb. 7). Sowohl der Anteil der Wohn- als auch der Industrie- und Gewerbeflächen nimmt mit der Entfernung von den BAB-AS ab. Diese Tendenz ist in Agglomerationsräumen besonders deutlich, liegt doch der Wohnflächenanteil in Autobahnnähe um den Faktor 2,2 und bei den Industrie- und Gewerbeflächen um den Faktor 5 über dem bundesdeutschen Durchschnitt für diese Raumkategorie. Die gleiche Tendenz allerdings bei geringeren Flächennutzungsanteilen findet



**Abb. 7:** Wohn-, Industrie- und Gewerbeflächenanteil in Kreiszonen unterschiedlicher Größe um BAB-AS differenziert nach Raumkategorien (Datengrundlage: CORINE Land Cover 2000, siedlungsstrukturelle Regionstypen des BBR).

sich in verdichteten und ländlichen Räumen.

Dass der Wohnflächenanteil in Agglomerationsräumen und verdichteten Räumen erst in 1 km und bei ländlichen Räumen erst in 2,5 km Distanz zur Autobahn sein Maximum erreicht, kann darauf zurückgeführt werden, dass eine sehr große Wohnnähe zur Autobahn, bedingt durch Lärm- und Schadstoffbelastung, wenig attraktiv ist.

Weiterhin wurden die Flächennutzungsänderungen zwischen 1990 und 2000 infolge des Autobahnbaus erhoben und mit den Siedlungsentwicklungstendenzen in Eisenbahnkorridoren verglichen (MEINEL, REICHERT & KILLISCH 2005). Der Zusammenhang zwischen Autobahnerschließung und ausgewählten Bevölkerungs- und Wirtschaftszahlen wird bei REICHERT (2005) diskutiert.

## 6 Zerschneidungswirkung

Die große Breite von Autobahnen in Kombination mit den Leitplanken, ihren teils steilen Böschungen, streckenweise vorhandenen Lärmschutzwänden bzw. Einzäunung sowie das generell hohe Verkehrsaufkommen bei sehr hohen Verkehrsgeschwindigkeiten stellen eine erhebliche Barriere

dar, deren Überwindung vielen Tierarten schwer oder auch unmöglich ist. Ohne die Möglichkeit eines adäquaten genetischen Austausches kommt es aber zur genetischen Verarmung und Degeneration der betroffenen Populationen, die bei Unterschreitung einer bestimmten Individuenzahl auch in den betroffenen Flächen zum Aussterben der Population führen können (JAEGER 2002).

In die folgenden Berechnungen der Zerschneidungswirkung wurden ausschließlich Autobahntrassen einbezogen. Dieses Vorgehen schien gerechtfertigt, da die Trennwirkung von Autobahnen extrem hoch ist bzw. eine vollständige Trennung darstellt im Vergleich zu anderen Straßenkategorien. Auch die Datenlage gestattete keine vollständige Berücksichtigung des Nichtautobahn-Sträßennetzes, sollten die Untersuchungen doch über einen Zeitraum von über 60 Jahren geführt werden. Zerschneidungsmindernde Bauwerke wie Brücken, Tunnel, Landschafts- und Grünbrücken konnten nicht berücksichtigt werden, da hierfür deutschlandweit keine Daten zur Verfügung standen. Derartige Elemente (z. B. Grünbrücken) mildern die Zerschneidungseffekte einer Straße meist auch nur lokal (Bundesministerium für Verkehr 1997) und haben



damit nur einen geringen Einfluss auf die Gesamtergebnisse der Berechnungen zur Zerschneidungswirkung von Autobahnen.

Auf Grundlage der Gesamtfläche  $F_g$  und der durch die Zerschneidung resultierenden Teilflächen  $F_i$  wurden die Zerschneidungsindizes Kohärenzgrad  $C$ , effektive Maschenweite (Abb. 8) und der Zerstückelungsindex (Abb. 9) nach JAEGER (2002) auf Basis der Autobahn-Geometrien beginnend ab 1950 im 10-jährigen Zeitabstand berechnet.

Die effektive Maschenweite  $m_{\text{eff}}$  gibt die wirksame Größe der „Maschen“ des Autobahnnetzes wieder. Dieses entspricht der effektiven Größe der verbleibenden Lebensräume. Sie berechnet sich wie folgt:

$$m_{\text{eff}} = \frac{1}{F_g} \sum_{i=1}^n F_i^2.$$

Der Kohärenzgrad  $C$  drückt die Wahrscheinlichkeit aus, dass zwei Tiere, die an

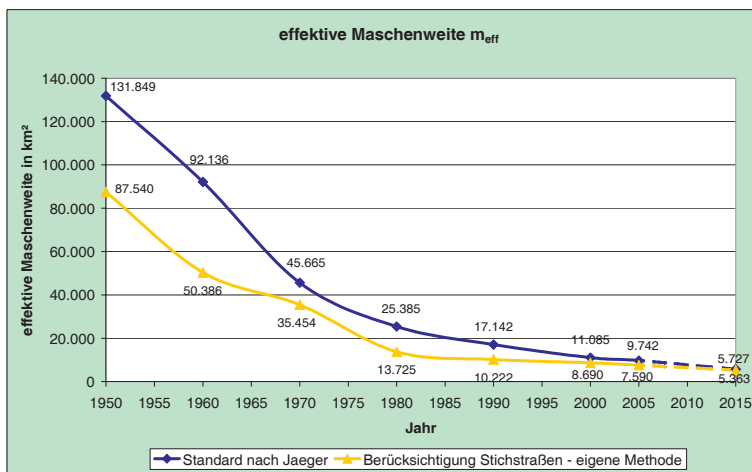


Abb. 8: Entwicklung der effektiven Maschenweite (nach Methode von JAEGER und modifizierter Berechnungsmethodik).

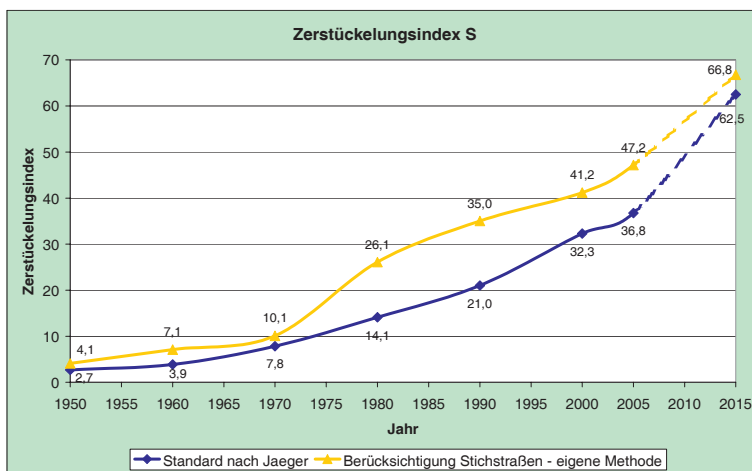


Abb. 9: Entwicklung des Zerstückelungsindex S (nach JAEGER und modifizierter Berechnungsmethodik unter Berücksichtigung der Stichstraßen).

zwei beliebigen Punkten im Raum ausgesetzt werden, sich in derselben unzerschnittenen Fläche befinden. Sie berechnet sich nach:

$$C = \frac{1}{F_{\text{ges}}^2} \sum_{i=1}^n F_i^2.$$

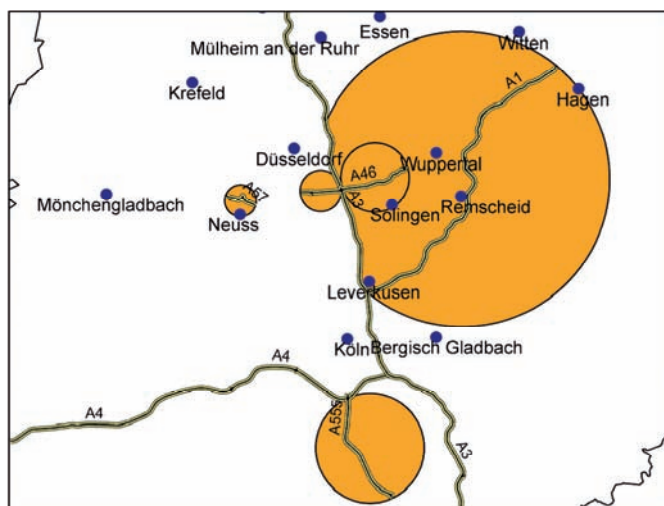
Der zum Kohärenzgrad  $C$  reziproke Zerstückerungsindex  $S$  gibt an, welche „Maschenzahl“ des Autobahnnetzes wirksam ist. Je größer  $S$ , umso stärker ist die Zerschneidung. Während der Zerstückerungsindex  $S$  die Stärke der Zerschneidung anzeigt, gibt  $m_{\text{eff}}$  die wirksame Größe der Teilflächen (Netzmaschen) an.

Alle drei Indizes zeigen die starke Zunahme der Zerschneidungswirkung durch den Autobahnausbau. Von 1950 bis 2015 ist eine relativ starke Entwicklung der Landschaftszerschneidung ablesbar. Der Zerschneidungseffekt steigt um das 23-fache bei einer Vervielfachung der Netzlänge der Autobahn. Bei einem geplanten Neubau von 1.900 km Autobahntrassen bis zum Jahre 2015 würde sich die Landschaftszerschneidung gegenüber 2005 fast verdoppeln, obwohl das Autobahnnetz „nur“ um knapp 15% erweitert wird, da viele bisher ungeschlossene Autobahnabschnitte (Stichbahnen) bis 2015 geschlossen werden sollen und dann erst eine komplette Flächenzerschnei-

dung darstellen. Weiterhin sind einige Autobahnabschnitte geplant, die noch vorhandene große unzerschnittene Flächen zerteilen und somit den Zerschneidungsindex drastisch heraufsetzen (A14 von Magdeburg nach Schwerin bzw. A20 von Rostock bis zur A11).

Nachteilig bei der Berechnung nach JAEGER ist, dass Autobahnabschnitte ohne Anbindung an das Autobahnnetz (offene Abschnitte wie z. B. schon fertig gestellte Teilstücke in der Nähe großer Städte) oder auch Autobahnabschnitte, die zum Untersuchungszeitpunkt nur einseitig ans Netz angebunden sind (Stichabschnitte), nicht berücksichtigt werden, obwohl auch diese eine Zerschneidungswirkung haben. Derartige Autobahnabschnitte sind im Zuge des Autobahnausbaus sehr häufig zu finden und müssen in die Berechnung der Zerschneidung einbezogen werden. Darum wurde das Berechnungsverfahren nach JAEGER folgendermaßen modifiziert (Abb. 10):

Es wird ein Kreis mit einem Durchmesser um die Stichabschnitte konstruiert, der der Länge der Luftlinienentfernung vom Anfangs- bis Endpunkt der Stichabschnitte entspricht. Die so konstruierte Kreisfläche muss angesichts der durch sie hindurchführenden Autobahn als zerschritten gelten. Diese Kreisfläche wird darum von der Rest-



**Abb. 10:** Konstruktionsprinzip der zerschnittenen Teilräume durch Stich- und Offenabschnitte.

fläche abgezogen und geht als separate Fläche in die Berechnung der Zerschneidungsindizes ein.

Aus dieser Berechnungsmodifikation resultiert eine realistischere Beschreibung der Zerschneidungsentwicklung (Abb. 8 und 9). Auch mit dieser Methode ist eine Vergrößerung des Zerschneidungseffektes von 1950 bis 2015 ersichtlich, wobei der Zerschneidungseffekt etwas weniger stark ausfällt (16-fach größere Zerschneidungsindizes 2015 gegenüber 1950).

Insgesamt ist die Zerschneidungsintensität in allen Zeitschnitten stärker ausgeprägt als nach der Methode von JAEGER, da hier auch der Einfluss von Stich- und Offenabschnitten berücksichtigt wird. Interessanterweise ist der Zerschneidungsindex im Jahr 2015 bei beiden Methoden etwa gleich groß. Dies ist in dem nur noch geringen Stichabschnittanteil im Autobahnnetz des Jahres 2015 begründet.

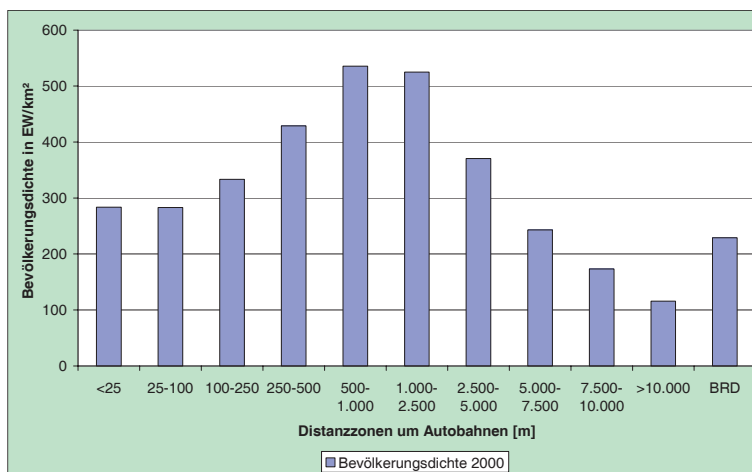
## 7 Lärmwirkung

Die hohe Verkehrsdichte, in Kombination mit den hohen mittleren Fahrzeuggeschwindigkeiten, führt zu einer starken Lärmwirkung im Umfeld der Autobahntrassen. Diese stellt eine erhebliche Beeinträchtigung für Mensch und Tier dar. Der Mensch mindert die Lärmwirkung durch einen gewissen Ab-

stand der Wohnbebauung oder Lärmschutzmaßnahmen. So ist der Wohnnutzungsanteil unmittelbar an den Autobahntrassen in den Distanzzonen  $< 0,5$  km deutlich unter dem Wohnnutzungsanteil in der Distanzzone 0,5–1 km (siehe Abb. 11), während die lärmunempfindlichere Gewerbenutzung in der Distanzzone bis 0,5 km ihren höchsten Anteil hat.

Um nun auf die Zahl betroffener Einwohner in den einzelnen Distanzzonen zu schließen, wurden gemeindebezogene Einwohnerzahlen auf die Wohnflächen (CLC-Klasse 1) räumlich disaggregiert. Wie Abb. 11 zeigt, ist die Bevölkerungsdichte in unmittelbarer Autobahnnähe geringer als in größerer Entfernung (Maximum der Bevölkerungsdichte in Distanzzone 0,5–1 km). Allerdings liegt diese immer noch über dem Bundesdurchschnitt, was auf eine doch erhebliche Zahl von lärmbeeinträchtigten Wohnstandorten schließen lässt.

Für das Autobahnnetz wurde die Entwicklung der verlärmten Fläche durch Pufferzonenbildung in verschiedenen beidseitigen Distanzen von 25 bis 500 m berechnet (Abb. 12). Im Ergebnis ist festzustellen, dass sich die verlärmte Fläche seit 1950 fast vierfacht hat und inzwischen für den Distanzbereich 0–500 m ca. 12 000 km<sup>2</sup> (3,5% der Fläche der Bundesrepublik) im Jahr 2005 beträgt.



**Abb. 11:** Bevölkerungsdichte in den Distanzzonen um die Autobahnen von 0 bis 500 m in der BRD im Jahr 2000.

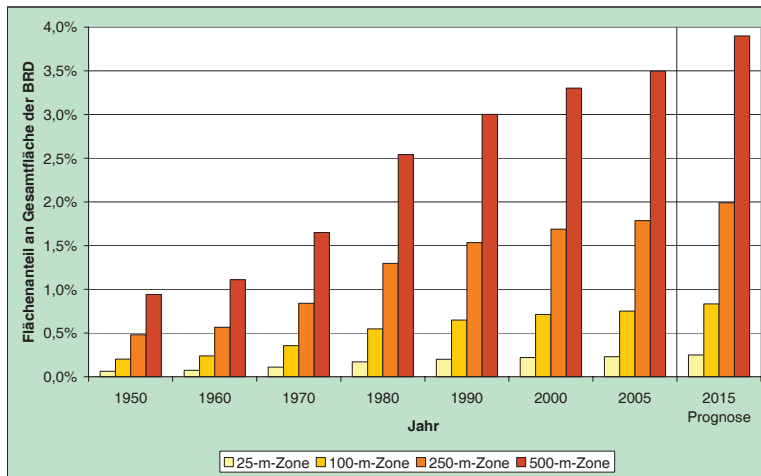


Abb. 12: Entwicklung der verlärmten Flächen in verschiedenen Distanzzonen um die Autobahn.

### 8 Flächenprognose infolge des Autobahnausbaus

Aus den Untersuchungsergebnissen können für die zukünftige Planung von Autobahntrassen prognostische Aussagen bezüglich der zu erwartenden induzierten Flächenentwicklung für Wohn- und Gewerbegebiete an BAB-AS getroffen werden. Grundlage sind die ermittelten mittleren Flächennutzungs-

profile in verschiedenen Kreisradien um Anschlussstellen in Abhängigkeit von deren Lage in siedlungsstrukturellen Regionstypen (BBR-Klassifikation). Durch Differenzbildung zwischen den ermittelten mittleren Flächennutzungsprofilen um Autobahn-Anschlussstellen und den bundesdeutschen Durchschnittswerten der Flächennutzung in den verschiedenen siedlungsstrukturellen Regionstypen kann die zu erwartende Sied-

Tab. 1: Prognose der Siedlungsflächenentwicklung durch den Autobahnbau bis 2015 (Grundlage: BVWP 2003).

Regionstyp		Agglomerationsraum	Verstäd- terter Raum	Ländlicher Raum	Insgesamt
Anzahl BAB-AS		1.077	742	327	2.146
Mittlerer Abstand der BAB-AS [km]		4,6	6,4	7,6	7,3
Geplante Neubautrassenlänge bis 2015 [km]		ca. 650	ca. 610	ca. 630	1.890
Prognose Anzahl neuer AS bis 2015		ca. 141	ca. 96	ca. 83	ca. 320
Mittlerer Siedlungsflächenanteil um BAB-AS [%] = prognostizierter Endwert	R = 0,5 km	39,3	22,8	13,6	
	R = 1 km	38,6	21,9	12,6	
	R = 2,5 km	32,2	16,3	10,0	
Absoluter Siedlungsflächenzuwachs gesamt in Deutschland [ha]	R = 0,5 km	257	203	294	754
	R = 1 km	823	413	866	2.102
	R = 2,5 km	2.091	1.538	2.528	6.157

lungsentwicklung lokal, regional und insgesamt für Deutschland abgeschätzt werden (Tab. 1).

Für eine Abschätzung der Bodenversiegelungseffekte infolge der im BVWP 2003 geplanten Autobahnneubauten für die gesamte Bundesrepublik musste zuerst die Anzahl neuer Anschlussstellen abgeschätzt werden, da diese nicht im BVWP festgelegt ist. Dazu wurde die mittlere Entfernung der bestehenden Anschlussstellendistanzen für die verschiedenen siedlungsstrukturellen Regionstypen zugrunde gelegt. Aus der resultierenden Gesamtzahl neuer Anschlussstellen und der Differenz der Anschlussprofile mit den bundesdeutschen Durchschnittswerten wurden die Siedlungseffekte in den Kreisradien 0,5 km, 1 km und 2,5 km kumuliert. Es ergeben sich demnach durch den Bau der geplanten 1.900 Autobahn-Kilometer mit prognostizierten 320 Anschlussstellen neue Siedlungsflächen von insgesamt ca. 6.150 ha im 2,5-km-Umkreis der Anschlussstellen. Diese Entwicklungen erfolgen natürlich in einer zeitlichen Verzögerung nach Fertigstellung der Autobahnen über einen Zeitraum von bis zu 15 Jahren. Diese Siedlungsentwicklungen mit ihren einhergehenden Flächennutzungsänderungen, Bodenversiegelungen und Landschaftszerschneidungen sollten in Zukunft schon in der Autobahn-Planung berücksichtigt werden, um zu einer ganzheitlichen Bewertung der Neubaustrecken zu kommen.

## 9 Ausblick

Die vorliegende Untersuchung zeigt die Möglichkeiten einer GIS-gestützten Flächen- bzw. Netzlängenbilanzierung über große Entwicklungszeiträume hinweg. Im Ergebnis können verschiedenste Wirkungen – in diesem Falle die Raum- und Umweltwirkung des deutschen Autobahnnetzes und seiner Entwicklung – bilanziert werden. Diese betrifft sowohl die die Verbesserung der Erreichbarkeit (Reisezeitverkürzung), als auch Umwelt- und Raumwirkungen (Bodenversiegelung und -überbauung, Verlärmung, Flächenzerschneidung).

Für derartige Untersuchungen sind Geodaten erforderlich, die bezüglich der früheren Zeitschnitte meist mühsam recherchiert, aufbereitet und kartiert werden müssen. Gerade im Fall von Flächennutzungserhebungen ist dieses mit einem sehr hohen Aufwand verbunden. Darum wäre wünschenswert, dass sowohl die topographische Landesaufnahme als auch Fachbehörden zunehmend nicht nur aktuelle Geodaten bereitstellt, sondern sukzessiv auch ältere raumbezogene Daten digital verfügbar machen. Selbst der Zugriff auf schon digital erhobene und vorliegende Daten früherer Zeitschnitte ist derzeit oft nicht möglich, da die Verwaltungsverfahren meist nur auf die Bereitstellung aktueller Daten ausgerichtet sind und keine Versionsverwaltung betrieben wird. Im Sinne aber eines in vielen Bereichen erforderlichen Monitorings wäre dieses in Zukunft dringend erforderlich.

## Literatur

- BBR, 2005: Raumordnungsbericht 2005. – Berichte Band 21, Hrsg.: BBR, Bonn, 2005, ([www.bbr.bund.de/raumordnung/raumentwicklung/raumkategorien.htm](http://www.bbr.bund.de/raumordnung/raumentwicklung/raumkategorien.htm))
- Bundesministerium für Verkehr, 1997: Bioökologische Wirksamkeit von Grünbrücken über Verkehrswege. – *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik* 1998, (756): 1–78.
- Bundesministerium für Verkehr, 2003: Straßenbedingte Auswirkungen auf die Pflanzen- und Tierwelt benachbarter Biotope. – *Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik* 2003, (865): 1–136.
- Bundesverkehrswegeplan, 2003: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, [www.bmvbw.de](http://www.bmvbw.de)
- CORINE Land Cover (CLC) – Technical Guide, 1997: European Environment Agency, ETC/LC.
- CORINE-Land-Cover-Daten (CLC2000) für Deutschland, 2004: Umweltbundesamt, [www.corine.dfd.dlr.de/data\\_de.html](http://www.corine.dfd.dlr.de/data_de.html)
- Datensatz zur Bodenbedeckung, 1997: Statistisches Bundesamt Wiesbaden.
- GATHER, M., 1999: Regionale Effekte des Fernstraßenbaus in den neuen Bundesländern. – Forschungsprojekt, Fachhochschule Erfurt.
- GLAWION, R., 2002: Ökosysteme und Landnutzung. – *Physische Geographie Deutschlands*, 289–319.



- Grundzüge der gesamtwirtschaftlichen Bewertung des Bundesverkehrswegeplanes 2003, 2002: BMVBW.
- JAEGER, J., 2002: Landschaftszerschneidung. – Verlag Eugen Ulmer.
- Leitlinien für eine nachhaltige räumliche Entwicklung auf dem europäischen Kontinent, 2000: Europäische Raumordnungsministerkonferenz (CEMAT), 2000 (7).
- LIEDTKE, H. & MARCINEK, J., 2002: Physische Geographie Deutschlands. – Justus Perthes Verlag Gotha GmbH, Gotha, 3. Aufl.
- LUTTER, H., 1981: Raumwirksamkeit von Fernstraßen. – Informationen zur Raumentwicklung, 3/4: 306ff.
- MEINEL, G., REICHERT, S. & KILLISCH, W., 2005: Raumwirkung des deutschen Autobahnnetzes – Ergebnisse einer GIS-gestützten Analyse. – Angewandte Geoinformatik 2005, Beiträge zum 17. AGIT-Symposium Salzburg; Strobl, Blaschke, Griesebner (Hrsg.); 430–436.
- REICHERT, S., 2005: Raum-zeitliche Analyse der Entwicklung des deutschen Autobahnnetzes und seiner spezifischen Wirkung auf die Flächennutzung und ausgewählte Wirtschafts- und Bevölkerungsdaten. – Diplomarbeit, TU Dresden, 2005 (unveröff.).
- SIEDENTOP, S. & MEINEL, G., 2004: CORINE Land Cover 2000 in Nation-wide and Regional Monitoring of Urban Land Use and Land Consumption. – CORINE Land Cover Workshop, Berlin, 2004.
- Anschrift der Verfasser:
- Dr.-Ing. GOTTHARD MEINEL  
e-mail: G.Meinel@ioer.de  
Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e. V., Weberplatz 1, 01217 Dresden
- Dipl.-Geogr. SASCHA REICHERT  
e-mail: Reichert.Sascha@gmx.de  
LfUG, Postfach 800132, 01101 Dresden
- Prof. Dr. WINFRIED KILLISCH  
e-mail: Winfried.Killisch@tu-dresden.de  
Institut für Geographie, TU-Dresden, 01062 Dresden
- Manuskript eingereicht: Februar 2007  
Angenommen: April 2007

## Objektorientierte Klassifikation terrestrischer Ölverschmutzungen mittels hoch auflösender Satellitendaten in West-Sibirien

JOHANNES REICHE, SÖREN HESE & CHRISTIANE SCHMULLIUS, Jena

**Keywords:** Remote Sensing, oil spill, Quickbird, object-oriented, context classification, Siberia

**Zusammenfassung:** Die Kartierung terrestrischer Oil Spills fand bisher in der optischen Fernerkundung wenig Anwendung, da durch die Vermischung der spektralen Signaturen von Vegetation und Böden mit denen von Ölverschmutzungen eine eindeutige Ausweisung auf der Landoberfläche nach radiometrischen Merkmalen problematisch ist und Verunreinigungen oft kleinräumig auftreten. In der vorliegenden Arbeit wird eine objektorientierte wissensbasierte Methode zur Kartierung terrestrischer Ölverschmutzungen aus geometrisch hoch aufgelösten Quickbird-Daten vorgestellt, die neben radiometrischen Eigenschaften kontextuelle Merkmale zur Beschreibung ölkontaminierter Flächen integriert und dadurch das Problem der spektralen Überschneidungen von Signaturen minimiert. Ein 6 km<sup>2</sup> großer Ausschnitt eines durch intensive Ölförderung geprägten Fördergebietes innerhalb der West-Sibirischen Provinz Khanty-Mansiysk bildet das Untersuchungsgebiet. Das entwickelte Verfahren ermöglicht die Quantifizierung der Ölverschmutzungen im Untersuchungsgebiet und stellt wichtige Informationen zum Monitoring der Oil Spills zur Verfügung.

**Summary:** *Object-oriented Classification of Terrestrial Oil Spills using High-Resolution Satellite Data in West Siberia.* This paper presents an object-oriented and knowledge-based approach for the classification of terrestrial oil spills using high-resolution Quickbird data. A crude oil contaminated 6 sqkm sub area of the Khanty-Mansiysk oil-production district in West Siberia was defined as the study area. The problem of mixed spectral signatures of vegetation, soils and crude oil substances complicates the clear identification of oil polluted areas on land using only spectral features. Contextual object features (class related information) were used therefore together with spectral features for the description of oil contaminated areas. The approach minimized the problem of the heavily mixed spectral signatures using context information (distance to production platforms, distance to pipelines etc.) to increase the classification accuracy of contaminated land surface objects with a complex and mixed spectral character.

### 1 Einleitung

Im Rahmen des Pilotprojektes OSCaR (Oil Spill Contamination mapping in Russia) (HESE & SCHMULLIUS 2006: 2) befasst sich die vorliegende Arbeit mit der Kartierung von Oil Spills in West-Sibirien mittels räumlich hoch aufgelöster multispektraler Fernerkundungsdaten.

In der Region Khanty-Mansiysk in West-Sibirien, in der das Untersuchungsgebiet dieser Arbeit verortet ist, befindet sich die größte Ölförderregion Russlands, in der infolge von Leckagen und Brüchen an Pipelines sowie produktionsbedingten Unfällen großräumig Bereiche durch Öl kontaminiert sind (Worldbank 2000, in Iwaco Report 2001:39). Die Verschmutzung des Bodens,

der Vegetation und der Luft ist ebenso wie die Kontamination des Oberflächen- und Grundwassers eine Folge der Freisetzung von Rohöl, Ölprodukten und Bohrschlämmen auf dem Land (HINTE 2005: 35f). Die Kartierung dieser Flächen bildet die Voraussetzung zur Quantifizierung der ökologischen Folgen der Ölverschmutzungen.

Neue geometrisch hoch aufgelöste Datensätze erlauben durch den Detailgehalt der Bilddaten die Erfassung der räumlichen Heterogenität derartiger Umweltverschmutzungen, bedingen jedoch Probleme bei der Auswertung mit traditionellen pixelbasierten Klassifikationsverfahren, welche rein auf spektralen Merkmalen basieren (NEUBERT & MEINEL 2002: 109). Durch die Gruppierung benachbarter Pixel zu Bildobjekten als Grundlage der Bildanalyse ermöglicht die objektorientierte Datenverarbeitung neben radiometrischen Merkmalen die Integration von Form, Textur und kontextuellen Attributen (SCHIEWE 2002: 7).

Unter Anwendung solcher semantischer Informationen zur Beschreibung von Objekten der 'realen Welt' beschäftigt sich diese Arbeit mit der Entwicklung einer objektbezogenen, wissensbasierten Methodik zur Kartierung ölkontaminierter Flächen aus hoch aufgelösten Quickbird-Daten.

## 2 Objektorientierte Bildverarbeitung

Eine zunehmende Fülle an zu extrahierenden Informationen aus hoch aufgelösten Fernerkundungsdaten erhöht den Bedarf an neuen Klassifikationsmethoden, die neben den spektralen auch geometrische Merkmale und Nachbarschaftsbeziehungen zur Analyse dieser nutzen (NEUBERT & MEINEL 2002: 109).

Einzelne Pixel können solche wichtigen semantischen Informationen nicht ausdrücken (BAATZ et al. 2004: 3-2). Durch die Bildung von Segmenten (Bildobjekten) als Basis einer objektorientierten und wissensbasierten Datenanalyse überwindet die objektorientierte Bildverarbeitungssoftware Definiens Professional die Limitationen der pixelbasierten Ansätze (BENZ et al. 2004:

240), da Segmente und deren gegenseitige Beziehungen die geforderte Bereitstellung semantischer Informationen ermöglichen (BAATZ et al. 2004: 3-3).

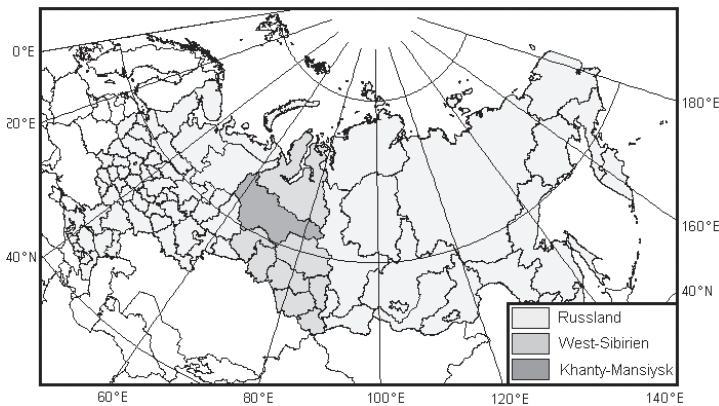
Der Aufbau einer Wissensbasis in Form einer hierarchischen Klassenstruktur (Vererbungshierarchie) zur Beschreibung von Wissen und Konzepten bildet die Grundlage für die sich anschließende *Fuzzy*-Klassifikation. Zum Aufstellen der Regeln für die Klassenhierarchie bietet Definiens Professional neben Objekteigenschaften wie spektralen Eigenschaften, Textur, Form und Fläche auch die Möglichkeit, klassenbezogene Merkmale, so genannte „*Class Related Features*“, und thematische GIS-Daten (BUCK et al. 1999: 100) einzubeziehen (BLASCHKE 2000: 10). „*Class Related Features*“ ermöglichen es, durch topologische Relationen zu Nachbar-, Unter- und Oberobjekten sowie Information über Klassifikationszugehörigkeiten die Beziehung zwischen räumlichen Objekten einzubinden (WILLHAUCK 2000: 217).

## 3 Untersuchungsgebiet und Datengrundlage

### 3.1 Beschreibung der Region Khanty-Mansiysk

In der 534 800 km<sup>2</sup> großen Region Khanty-Mansiysk, die mit acht weiteren Teilrepubliken West-Sibirien bildet (Abb. 1), befindet sich das größte Ölfördergebiet Russlands, das mit 58% am russischen Produktionsvolumen beteiligt ist. Als Hauptimporteure des Rohöls sind Deutschland und die restlichen westeuropäischen Staaten zu nennen (Iwaco Report 2001: 23).

Weitläufige Tundra- und Taigagebiete prägen die Region. Die Tundragebiete sind dabei durch ausgedehnte Feuchtgebiete und Torfmoore sowie Permafrostböden charakterisiert (Iwaco Report 2001: 8). Klimatisch ist die Region Khanty-Mansiysk bei Temperaturen von  $-36^{\circ}\text{C}$  im Januar und  $17^{\circ}\text{C}$  im Juli (WorldBank 1994: 50) dem kontinentalen und subarktischen Klima zuzuordnen. Große, bisher ungeforderte Ölreserven in strukturellen und stratigraphischen Ablage-



**Abb. 1:** Geographische Eingliederung der Region Khanty-Mansiysk.

rungsfallen im Dogger (mittleres Jura) charakterisieren das Gebiet geologisch (Iwako Report 2001: 8).

Die Besiedlung konzentriert sich auf das Gebiet um den Verwaltungssitz Khanty-Mansiysk, einige weitere größere Orte und die in den letzten 25 Jahren entstandenen Ölfördergebiete (Iwako Report 2001, in HESE & SCHMULLIUS 2006: 2).

### 3.2 Ursachen und Folgen der Ölverschmutzungen

Kontaminierte Gebiete werden in Khanty-Mansiysk durch einen jährlich geschätzten Öleintrag von 2 Millionen Tonnen (Iwako Report 2001: 51) auf 2–4% des gesamten Ölfördergebietes angenommen (BABENKO 2003: 1). Leckagen und Brüche an Pipelines sind mit 97,8% die Hauptursache der Verschmutzungen (Worldbank 2000, in Iwako Report 2001: 39) (Abb. 2). Als weitere Ursachen sind Unfälle an Bohrstationen, abgelagerte ölverseuchte Bohrschlämme und der vorsätzliche Ablauf von Öl zu nennen (Iwako Report 2001: 51). Es ist zu bemerken, dass es bis 1990 von industrieller Seite keinerlei Berücksichtigung von Schutzmaßnahmen gegen Ölverschmutzungen gab. Technologische Sicherheitsmaßnahmen sind bis heute nur unzureichend umgesetzt (Iwako Report 2001: 18).

Feuchtgebiete sind besonders stark durch Öleinträge betroffen, da ein hoher

Grundwasserspiegel in Sumpf- und Torfgebieten zur schnellen Ausbreitung des Öls führt. Mit dem Grundwasser vermisches Öl impliziert durch den Transport in Richtung des Grundwasserflusses die Kontamination auch weit vom Ort des Öleintrages entfernter Gewässer und Quellen (FINGAS 2000: 177). In Taigagebieten verhindert Krustenbildung durch Verwitterung des Erdöls die Atmung des unterliegenden Bodens und somit das Pflanzenwachstum. Eine langjährige Ölverschmutzung hat ein Absterben der heimischen Koniferenwälder zur Folge (FINGAS 2001: 182).

Sozioökonomische Folgen der langjährigen Ölverschmutzungen des Bodens, des Grundwassers und der Luft sind insbesondere gesundheitliche Schäden wie der signifikante Anstieg onkologischer Erkrankungen der ansässigen Bevölkerung (Iwako Report 2001: 69).



**Abb. 2:** Oil Spill durch Leckagen an Pipeline (Photo: S.Cejchan, BFH Hamburg).

### 3.3 Datengrundlage

Die in dieser Arbeit verwendeten multispektralen Quickbird-Daten (Tab. 1) bedecken einen 16 km<sup>2</sup> großen Ausschnitt nördlich des Ortes Surgut in der Region Khanty-Mansiysk. Die Daten sind in UTM Zone 43 mit dem Bezugsellipsoid WGS84 georeferenziert und wurden auf eine Pixelgröße von 2,5 m resampled. Sie wurden nicht atmosphärenkorrigiert.

Ground-Truth-Informationen standen vom in Khanty-Mansiysk ansässigen OSCaR-Projektpartner an der Yugra-State-Universität (in Form von GIS-Layern) zur Verfügung. Neben GIS-Layern mit Infrastrukturinformation zur Lage von Straßen und Bohrstationen lagen GIS-Informationen über die räumliche Ausdehnung der ölkontaminierten Flächen im Untersuchungsgebiet vor. Allerdings wurden diese auf Grundlage von Landsat-Szenen durch ortsansässige Experten abgeleitet. Damit sind sie qualitativ mit echten im Gelände erhobenen Bodeninformationen nicht gleichzusetzen (Abb. 3). Die geometrische Genauigkeit der Expertenkartierung in Bezug auf die Evaluierung hoch aufgelöster Quickbird-Daten ist allerdings zu gering, da die räum-

Tab. 1: Quickbird-Datensatz in OSCAR.

Parameter	Spezifikation
Aufnahmedatum	2004-09-27
Größe der Szene (km)	16 × 16
Wolkenbedeckung (%)	1
Katalog ID	101001000348E202
Off-Nadir	19 Grad
Geometrische Auflösung (m)	2,5 (multispektral) 0,6 (panchromatisch)
Radiometrische Auflösung	16 bit

liche Heterogenität der Ölverschmutzungen im Gebiet durch Landsat-Daten nicht ausreichend abgebildet wird.

## 4 Methodik

Ausgehend von einer visuellen Analyse der Bilddaten wurden im ersten Teil des methodischen Vorgehens Zielobjekte der ‚realen Welt‘ herausgearbeitet und zu einem konzeptionellen Modell verknüpft. Die Übertragung dieses Modells und der spezifischen

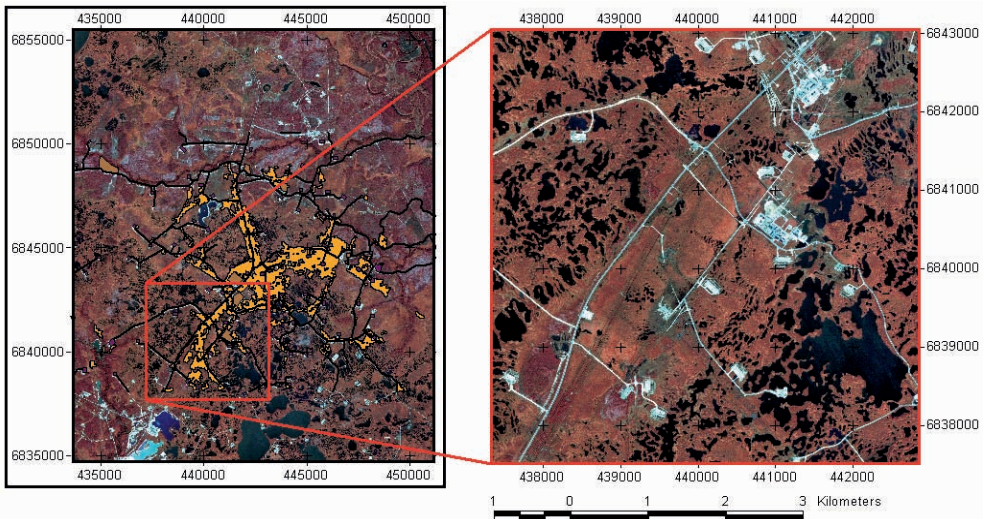


Abb. 3: Quickbird-Daten (RGB: 4-3-2) mit überlagerten Ground-Truth-Informationen (links), Subset des Untersuchungsgebietes (RGB: 4-3-2) (Projektion: UTM Zone 43, WGS 84; nicht atmosphärenkorrigiert).



Eigenschaften der Zielobjekte in eine Wissensbasis als Grundlage der objektorientierten Analyse der Bilddaten zur Kartierung der Oil Spills folgt im zweiten Teil.

Als Untersuchungsgebiet dient ein 6 km<sup>2</sup> großes Subset der multispektralen Quickbird-Daten, in dem Tundrenlandschaften mit weitläufigen Seengebieten durch die Ölförderung und deren negativen Folgen überprägt sind (Abb. 3).

#### 4.1 Konzeptionelles Modell des Untersuchungsgebietes

Zur Förderung und Verarbeitung von Erdölen befinden sich im Untersuchungsgebiet neben zwei großen Raffinerien zahlreiche kleine Bohrstationen, die an ein ausgedehntes

Straßennetz angeschlossen sind. Der Verlauf der Pipelines, welche sich vorwiegend parallel zum Straßenverlauf befinden, ist zwar zu erkennen, eine geometrisch Auflösung von 2,5 m der Bilddaten verhindert jedoch, die Pipelines separat zu detektieren. Die Folgen von Leckagen und Brüchen der Pipelines sind dennoch in direkter Nähe zur Straße durch abgestorbene Vegetation und dunkle Oberböden deutlich erkennbar (Abb. 4/A). Eine solche räumliche Abhängigkeit der Ölverschmutzungen ist ebenfalls zu Bohrstationen und einigen industriellen Anlagen zu verzeichnen. Bei der visuellen Analyse ist dabei eine klare hierarchische Ordnung der Ausweitung der Folgen der Ölkontaminationen zu erkennen. In der Umgebung von Straßen sind die geringsten Aus-

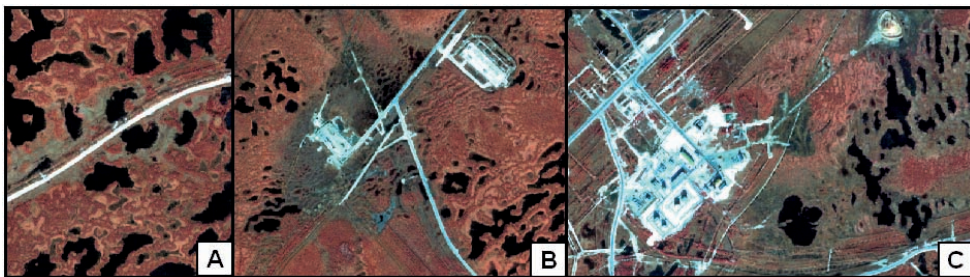


Abb. 4: Räumliche Ausdehnung der Folgen von Ölverschmutzung in der Nähe verschiedener industrieller Objekte (A: Straße; B: Bohrstation; C: Industrieanlage) (RGB: 4-3-2).

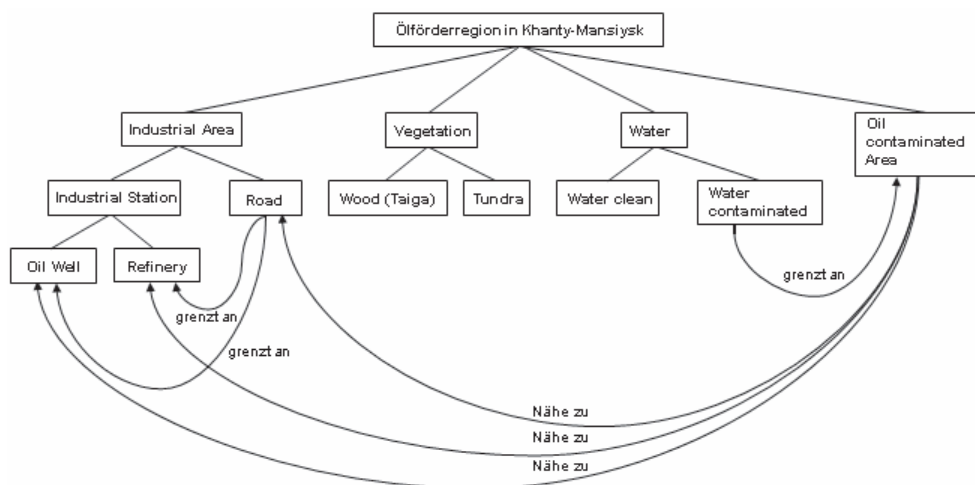


Abb. 5: Konzeptionelles Modell zur Analyse von mit Öl verunreinigten Oberflächen in der Ölförderregion Khanty-Mansiysk.

dehnungen zu verzeichnen (Abb. 4/A), rund um Bohrstationen deutlich größere (Abb. 4/B) und in der Umgebung von industriellen Anlagen die am weitesten ausgedehnten (Abb. 4/C). Dies impliziert einen kausalen Zusammenhang zwischen der Größe des Industrieobjektes und der Ausweitung der Ölverschmutzung in dessen Umfeld.

Ein weiterer räumlicher Zusammenhang besteht zwischen ölkontaminierten Flächen und angrenzenden Gewässern (s. Abb. 4/C). Mit hoher Wahrscheinlichkeit kann von einem Öleintrag von der Oberfläche oder aus der Bodenzone der verschmutzten Landfläche in die angrenzenden Seen ausgegangen werden. Rein spektral lassen sich solche potentiell ölkontaminierten Gewässer von sauberen Seen aber kaum unterscheiden. Aus der visuellen Analyse wurden die acht Zielobjekte *Oil Well*, *Refinery*, *Road*, *Wood (Taiga)*, *Tundra*, *Water clean*, *Water contaminated* und *Oil contaminated Area* des Untersuchungsgebietes definiert und zu einem konzeptionellen Modell verknüpft (Abb. 5).

Im Anschluss erfolgte die Aufarbeitung der spezifischen Eigenschaften der Zielobjekte, um auf deren Grundlage die Auswahl der Parameter für eine Klassenhierarchie (Wissensbasis) zur Extrahierung der Zielobjekte zu treffen.

Natürliche Überlappungsbereiche zwischen Vegetation (*Vegetation*) und den spektral sehr vielfältig erscheinenden ölverschmutzten Gebieten (*Oil contaminated Area*) bedingten Probleme bei der Festlegung scharfer Grenzwerte der Reflektanzen zur Abgrenzung beider Zielobjekte. Ebenso ergaben sich Überlappungen der Signaturen der ölkontaminierten Bereiche (*Oil contaminated*) mit Randbereichen von Wasserflächen (*Water*) und Gewässern mit geringem Wasserstand, in denen der Boden zum spektralen Signal beiträgt.

#### 4.2 Objektorientierte Analyse des Untersuchungsgebietes

Die Übertragung (Implementierung) des konzeptionellen Modells unter Verwendung der Eigenschaften und räumlichen Zusam-

menhänge der Zielobjekte des Untersuchungsgebietes in eine Wissensbasis (Klassenhierarchie) zur Extrahierung der ölkontaminierten Flächen ist Ziel der objektorientierten Analyse.

Da sich ölkontaminierte Flächen durch spektrale Überlappungen radiometrisch nicht klar von den restlichen Objekten im Bild trennen lassen, ist es Aufgabe des methodischen Ansatzes, den kausalen Zusammenhang zwischen ölverschmutzten Gebieten und deren Nähe zu industriell genutzten Objekten (*Road*, *Oil Well*, *Refinery*) in die objektorientierte Analyse zu integrieren.

#### Segmentierung der Bilddaten

Die Segmentierung der Bilddaten erfolgt auf zwei Segmentierungsebenen. Ein *Scale Parameter* von 10 und die Gewichtung der Farbhomogenität von 0.8 ermöglichten es im Base Level durch Bildung kleiner Segmente, ölverseuchte Bereiche räumlich und radiometrisch von anderen Objekten zu trennen. Im übergeordneten Level wird durch einen hohen *Scale Parameter* von 25 und die Gewichtung der Formhomogenität von 0.9 die gegenseitige Abgrenzung der Objekte *Road*, *Oil Well* und *Refinery* nach Form- und Größenmerkmalen vollzogen.

#### Extrahierung der industriellen Objekte

Nach Segmentierung der Bilddaten bildet die Extrahierung und gegenseitige Abgrenzung der industriellen Objekte Straße (*Road*), Bohrstation (*Oil Well*) und Raffinerie (*Refinery*) auf der zweiten Segmentierungsebene (Top Level) den ersten Teilschritt der objektorientierten Verarbeitung. Der Klassenhierarchie liegt dabei das entwickelte konzeptionelle Modell zugrunde. Die Parameterauswahl zum Aufbau dieser Klassenhierarchie basiert auf den spezifischen Eigenschaften der Zielobjekte (Abb. 6).

Die Trennung der industriell genutzten Objekte (*Industrial Area L2*) von den restlichen Bildbereichen ist durch spektrale Unterschiede im blauen Kanal gegeben, da In-

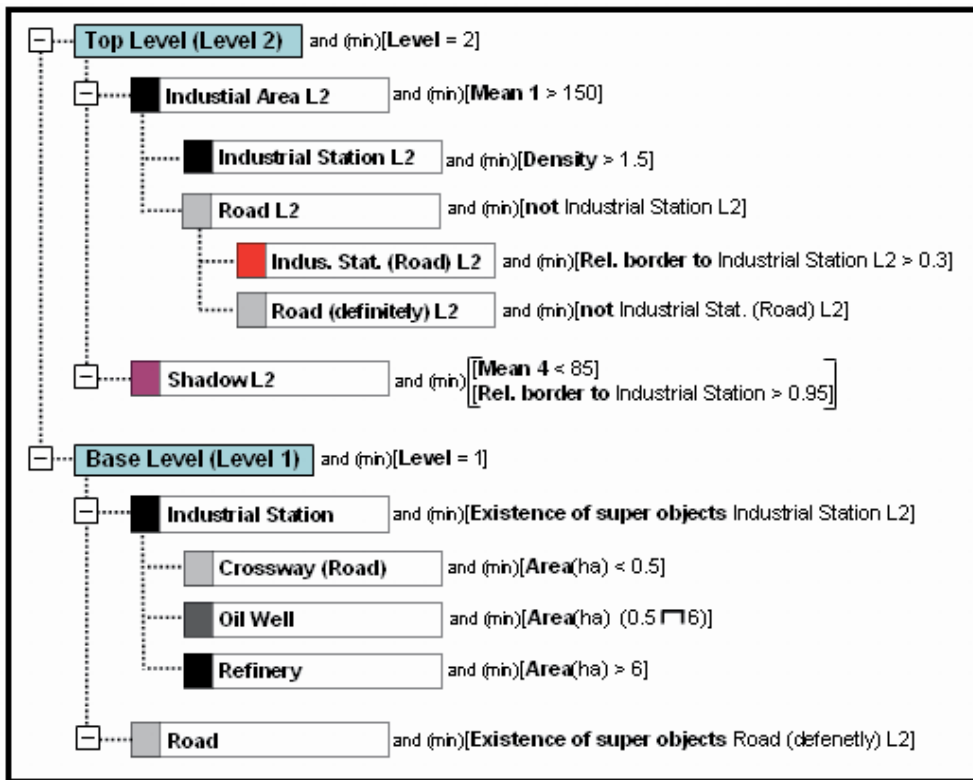


Abb. 6: Klassenhierarchie zur Extraktion der industriellen Objekte.

dustrieobjekte im Untersuchungsgebiet durch deutlich höhere Reflektanzen in diesem Spektralbereich charakterisiert sind.

Definiens Professional bietet durch den Formparameter *Density* die Möglichkeit, die kompakten großflächigen Industrieanlagen (*Industrial Station L2*) von den langen und schmalen Straßen (*Road L2*) abzugrenzen. Segmente, die aufgrund ihrer länglichen Form durch Unterschreiten des Schwellwertes der *Density* als Straße (*Road L2*) klassifiziert wurden, jedoch Industrieanlagen (*Industrial Station L2*) zuzuordnen sind, können durch ihre hohe Angrenzung (*Relative border to Industrial Station L2* < 0.3) an diese von tatsächlichen Straßensegmenten (*Road (definitely) L2*) differenziert werden und sind als angrenzende Industrieobjekte (*Industrial Station (Road) L2*) ausgewiesen.

Aufgrund der kompakten Struktur werden Segmente, welche Straßenkreuzungen

(*Crossway (Road)*) repräsentieren, als Industrieanlagen (*Industrial Station L2*) klassifiziert. Die spezifische Trennung erfolgte bei der Trennung der industriellen Objekte im Base Level.

Schattenflächen werden durch ihre Eingeschlossenheit von umliegenden Industrieobjekten extrahiert.

Der Zusammenschluss von Segmenten (*Mergen*) der Klassen *Shadow L2* und *Industrial Station (Road) L2* mit den Segmenten der Klasse *Industrial Station L2* führt zur Bildung von Objekten, die in Form und Größe die industriellen Anlagen genau erfassen. Nach Übernahme der fusionierten Objekte *Industrial Station L2* in das darunter liegende Base Level durch die Verwendung von klassenbezogenen Merkmalen können die industriellen Anlagen (*Industrial Station*) je nach Größe in Straßenkreuzungen (*Crossway (Road)*), Bohrstationen (*Oil*

Well) und Raffinerie (*Refinery*) unterschieden werden. Ebenso erfolgt die Übernahme der extrahierten Straßenobjekte in das Base Level.

### Klassifikation der ölkontaminierten Flächen

Die Öl kontaminierten Flächen lassen sich zwar räumlich auf die Umgebung der extrahierten industriellen Anlagen und Straßen eingrenzen, die Trennung von Vegetation und Wasserflächen ist jedoch nur durch radiometrische Merkmale möglich. Aufbauend auf der bereits bestehenden Wissensbasis zur Extrahierung der Industrieanlagen (*Industrial Area*) und Straßen (*Roads*) ist die Klassenhierarchie zur Detektierung der restlichen Zielobjekte im Base Level entwickelt (Abb. 7).

Für den Aufbau dieser Klassenhierarchie wird eine *Eliminations*-Strategie verfolgt, bei der Objektklassen schrittweise ausgeschlossen werden, um ein Zielobjekt zu definieren. Durch das Prinzip der Vererbung wird eine zunehmende Konkretisierung dieser Zielobjekte in abgeleiteten Unterklassen ermöglicht. Der Vorteil der *Eliminations*-Strategie im Vergleich zu anderen Verfahren liegt im logisch strukturierten Aufbau der Klassenhierarchie (HOFMANN 2001: 88).

In der ersten Klassifikationsebene wird Vegetation (*Vegetation*) durch einen Schwellwert des NDVI von 0,325 von anderen Bildobjekten (*Not Vegetation*) getrennt.

Die Festlegung des Schwellwertes erfolgte durch visuelle Analyse und Interpretation der Bilddaten wodurch eine direkte Übertragbarkeit auf andere Bilddaten nur bedingt möglich ist.

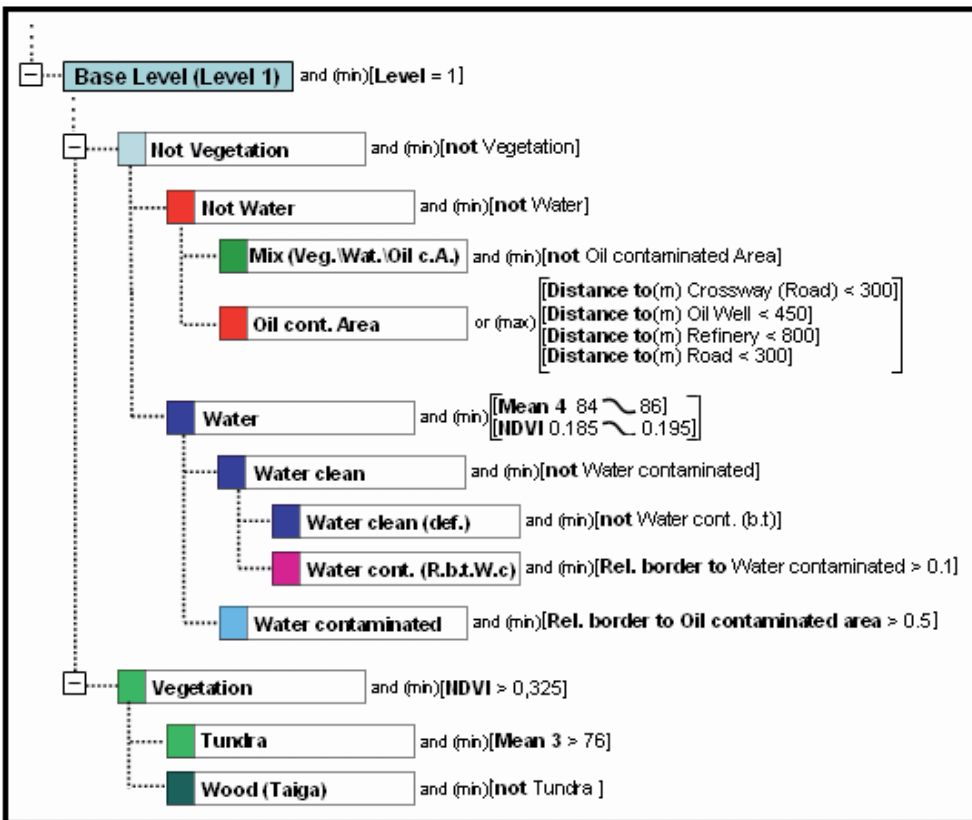


Abb. 7: Klassenhierarchie zur Klassifizierung der Öl kontaminierten Flächen.

*Not Vegetation* umfasst neben Gewässern (*Water*) auch mögliche ölverschmutzte Landflächen, die als Klasse *Not Water* definiert und in der zweiten Klassifikationsebene differenziert werden. Eine klare radiometrische Abgrenzung beider wird durch spektrale Überlappungsbereiche verhindert. Fuzzy-Zugehörigkeitsfunktionen des NDVI und des vierten Spektralbandes (NIR) ermöglichen es, diesen unsicheren Zusammenhang zu beschreiben. Instanzen der Klasse *Not Water* erben dementsprechend die Merkmale der Bildobjekte, die nicht als Vegetation und nicht als Wasserflächen klassifiziert wurden. In Anlehnung an das konzeptionelle Modell erfassen diese Bildobjekte somit faktisch ölkontaminierte Flächen (*Oil contaminated Area*), da die Zugehörigkeit zu Vegetation und Gewässern ausgeschlossen wurde.

Die dargelegten spektralen Überlappungen unterbinden jedoch eine eindeutige Ausweisung dieser Bildobjekte als ölkontaminierte Flächen über den gesamten Bildbereich. Die Umsetzung des vorgestellten Ansatzes führt durch Eingrenzung der potentiell ölverschmutzten Bereiche auf die Umgebung von Industrieanlagen und Straßen zur Minimierung möglicher Fehlklassifikationen durch radiometrische Überschneidungen. Dies bedingt die Aufgliederung der Klasse *Not Water* in ölkontaminierte Gebiete (*Oil contaminated area*) und weiter entfernte Überlappungsbereiche (*Mix (Veg.\ Wat.\ Oil c. A.)*), die allerdings nicht als ölverschmutzte Gebiete auszuweisen sind.

Im Untersuchungsgebiet gemessene Distanzen der Ausweitungen sind durch das klassenspezifische Merkmal *Distance to* in der Klassenhierarchie umgesetzt worden.

Der Fuzzy-Operator *or(max)* verknüpft die vier Eigenschaften als logische ‚oder-Beziehung‘ und gibt den höchsten Zugehörigkeitswert zurück, der im vorliegenden Zusammenhang die größte Distanz darstellt.

Bei der Ausweisung ölverschmutzter Wasserflächen (*Water contaminated*) wurde davon ausgegangen, dass Gewässer (*Water*) mit einer direkten Grenze zu ölkontaminierten Flächen (*Oil contaminated Area*) mit hoher Wahrscheinlichkeit ebenfalls verseucht

sind. Nach Fusionierung (*Mergen*) aller Segmente der Klasse *Water* sind die entstandenen Wasserflächensegmente (*Water*) bei einer Angrenzung von über 50 % als kontaminiert (*Water contaminated*) ausgewiesen worden. Da Referenzinformationen zur Wassergüte und zum Alter der angrenzenden Ölverschmutzungen nicht vorhanden sind, verhindert der verwendete Schwellwert von 50 % die unsichere Klassifizierung von Gewässern.

## 5 Ergebnisse und Diskussion

Das Ergebnis der aufgezeigten Methode hinsichtlich der Ausweisung ölkontaminierter Flächen ermöglicht die Quantifizierung der Ölverschmutzungen im Untersuchungsgebiet (Abb. 8). So wurden 17,5 % der Landfläche als kontaminiert klassifiziert. Zusammen mit den versiegelten Flächen der industriellen Objekte ist die direkt ausweisbare Schädigung auf fast ein Viertel (22,7 %) der Gesamtfläche anzugeben. Unter Annahme der verwendeten Kontexteigenschaft der Angrenzung an kontaminierte Landflächen sind verseuchte Wasserflächen auf 30 % zu schätzen.

Overlay-Analysen erlauben eine visuelle Beurteilung des Klassifikationsergebnisses, wobei eine hinreichend genaue Erfassung der Zielklassen festzustellen ist (Abb. 9).

Als Evaluierungsgrundlage zur quantitativen Beurteilung der Genauigkeit der ausgewiesenen ölkontaminierten Flächen (*Oil contaminated Area*) dienen die zur Verfügung stehenden Ground-Truth-Informationen russischer Experten. Eine zu geringe Genauigkeit der Daten unterband jedoch die direkte Auswahl der Evaluierungsflächen auf deren Basis (Abb. 9). Durch visuellen Abgleich mit den hoch aufgelösten Quickbird-Bilddaten wurden modifizierte Evaluierungsobjekte festgelegt.

Eine resultierende *Producer Accuracy* von 96 % sowie eine *User Accuracy* von 89 % der klassifizierten ölverschmutzten Gebieten (*Oil contaminated Area*) beschreiben die Güte des Verfahrens jedoch nur bedingt. Die nötige visuelle Interpretation der Bilddaten zur Auswahl der Evaluierungsob-



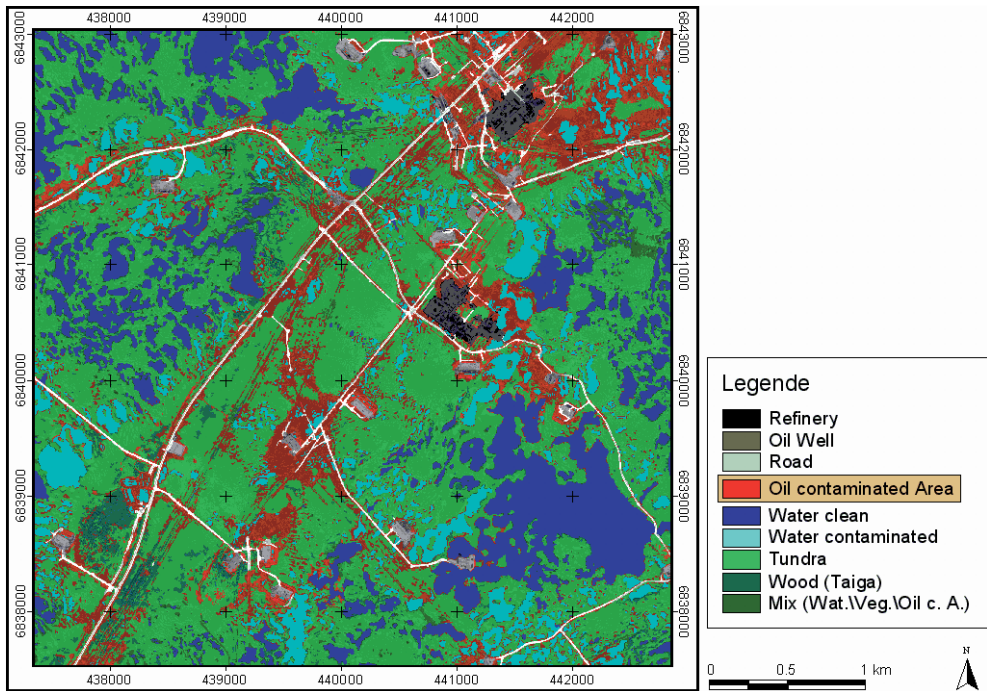


Abb. 8: Kartendarstellung des Klassifikationsergebnisses (Projektion: UTM Zone 43, WGS 84).

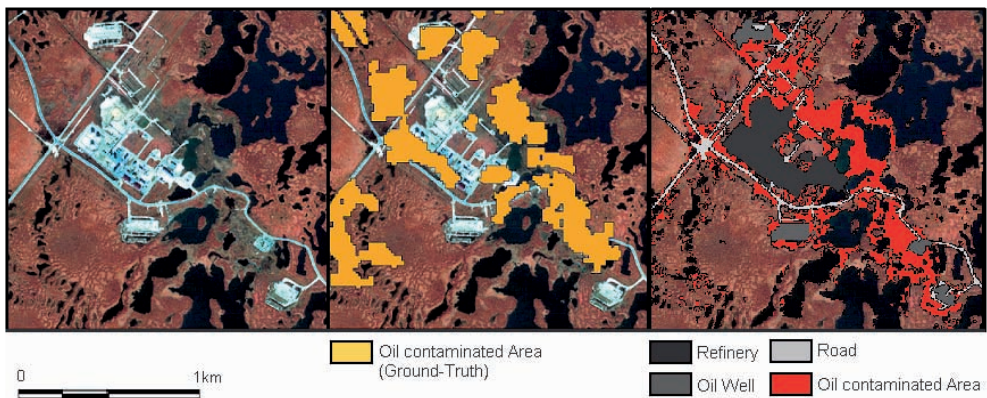


Abb. 9: Vergleich der Quickbird-Daten (RGB: 4-3-2) (links), Ground-Truth-Informationen (Mitte) und den überlagerten GIS-Layern der exportierten Zielklassen (rechts).

jekte verwehrt eine vollkommen objektive und somit qualitativ hochwertige Genauigkeitsanalyse. Grund hierfür waren die bereits erwähnten zu ungenauen Referenzdaten. Zum einen bestehen deutliche Diskrepanzen zwischen den geometrisch zu gering aufgelösten GIS-Informationen und den vi-

suell sichtbaren Verunreinigungen im Gebiet (Abb. 9), zum anderen lagen keine genauen Datierungen der ausgewiesenen Ölkontaminationen vor.

Da mit multispektraler Fernerkundung lediglich die Kartierung der durch Ölverschmutzungen resultierenden Vegetations-

schäden möglich ist und nur bedingt die Erfassung der Ölverunreinigungen selber, wären Informationen über die zeitliche Eingrenzung einzelner Ölverschmutzungen für die Evaluierung des entwickelten Verfahrens von hoher Relevanz. Ältere verunreinigte Flächen mit regenerierender Vegetation könnten folglich differenziert betrachtet werden. Im Rahmen des durch das IB des BMBF finanzierten Pilotprojektes OSCaR war die Erhebung solcher Daten sowie die Erfassung spezifischer Reflektionsspektren (z. B. Hyperspektral) innerhalb einer Geländekampagne nicht vorgesehen und finanziell nicht möglich. Die politischen Rahmenbedingungen in Russland sowie die geringe Toleranz der Ölkonzerne für die Kartierung der Ölverschmutzungen machen eine solche Geländekampagne außerdem schwer durchführbar, wodurch die zur Verfügung stehenden Kontaminationskartierungen wiederum als vergleichsweise hochwertige Informationen besonders zu schätzen sind.

Hinsichtlich der entwickelten Methode ist festzustellen, dass es sich als sinnvoll erwies, als Grundlage dieser objektorientierten Analyse ein vorher entwickeltes konzeptionelles Modell festgelegter Zielobjekte der ‚realen Welt‘ zu nutzen. Nach Erfassung der Eigenschaften der einzelnen Zielobjekte war es einfach möglich, sowohl die Parameter-einstellungen zur Segmentierung als auch eine Klassenhierarchie abzuleiten.

Die Integration von Kontextinformationen und geometrischen Eigenschaften (Form und Größe) neben radiometrischen Merkmalen zur Beschreibung von Objekten zu verwenden, ist als Hauptvorteil des aufgezeigten wissensbasierten, objektorientierten Analyseverfahrens (innerhalb der Toolbox Definiens Professional) gegenüber einem pixelbasierten Ansatz zu nennen.

Die zum Aufbau der Klassenhierarchie genutzt *Eliminations*-Strategie ermöglicht die einfache und logische Umsetzung des vorher entwickelten konzeptionellen Modells, ist jedoch anfällig für die Fortpflanzung von Fehlern (*error propagation*). ‚Instabile‘ Klassendefinitionen von Elternklassen (*parent class*) implizieren die Vererbung

potentieller Fehler durch die komplette Vererbungshierarchie.

Kritisch ist weiterhin anzumerken, dass die entwickelte Klassenhierarchie auf der Primärsegmentierung der Daten aufbaut, wodurch sich (mögliche) subjektive Inkorrektheiten der Parameterauswahl zur Segmentierung auf die nachfolgende Analyse der Bilddaten auswirken.

Durch den Export der einzelnen Zielklassen als GIS-Layer konnte das Potential der objektorientierten Bildanalyse in Bezug auf die Bereitstellung von GIS-Informationen aus räumlich hoch aufgelösten Fernerkundungsdaten verdeutlicht werden. Mittels multitemporaler Datenauswertung ermöglicht dies den Aufbau eines (möglichen) Monitoringsystems zur Überwachung der Ölverschmutzungen in West-Sibirien.

## Danksagung

Diese Arbeit entstand am Lehrstuhl für Fernerkundung des Institutes für Geographie an der Friedrich-Schiller-Universität Jena im Rahmen des IB/BMBF teilfinanzierten Projektes OSCaR (Oil Spill Contamination mApping in Russia).

## Literatur

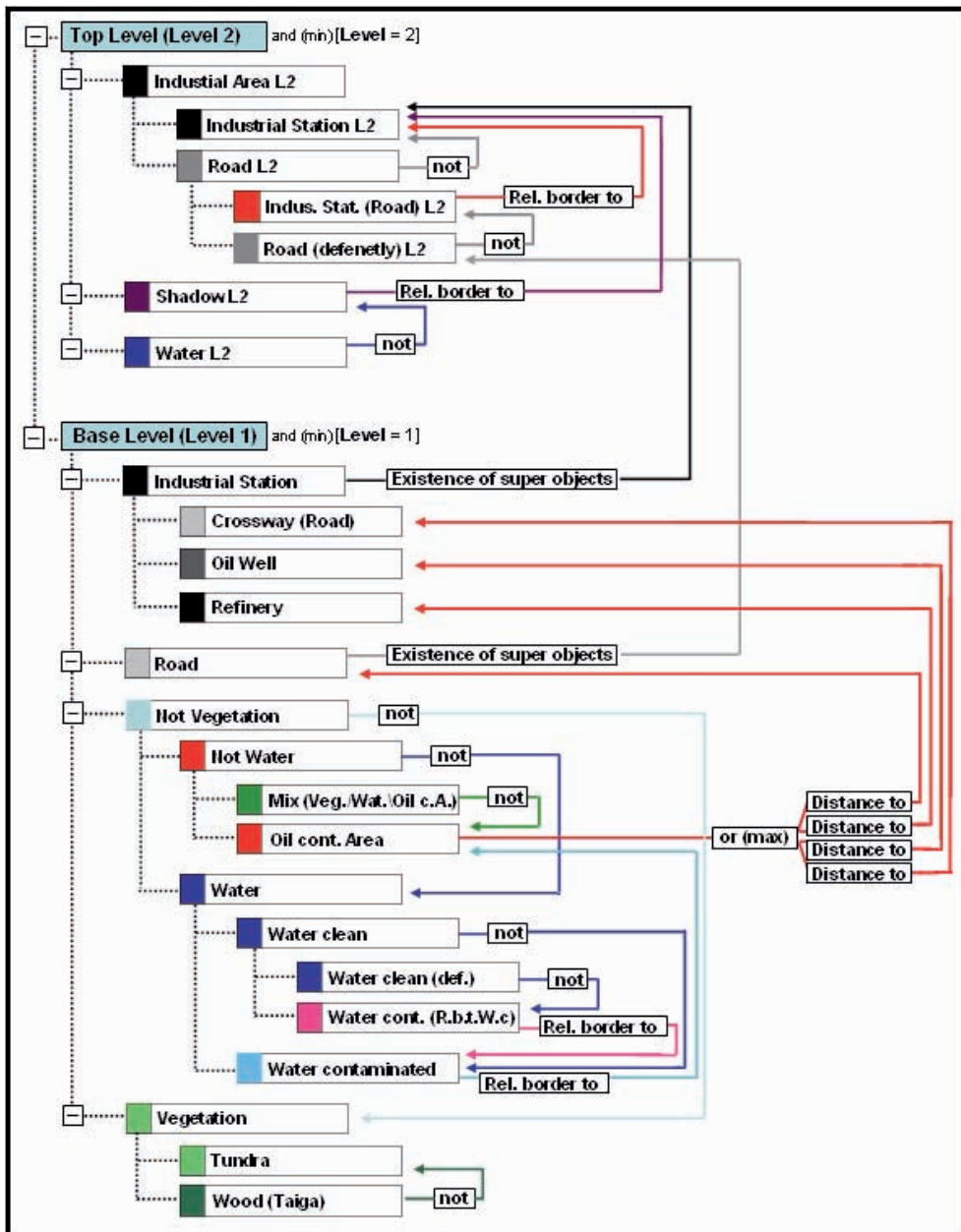
- BAATZ, M., BENZ, U., DEGHANI, S., HEYEN, M., HÖLTJE, A., HOFMANN, P., LINGENFELDER, I., MIMLER, M., SOHLBACH, M., WEBER, M. & WILLHAUCK, G., 2004: eCognition Professional: User Guide 4. Definiens AG, München.
- BABENKO, A., 2003: Development of Oil Industry and Soil Pollution in West Siberia. ([http://www.bodenkunde2.uni-freiburg.de/euro\\_soil/abstracts/id205\\_Babenko\\_full.pdf](http://www.bodenkunde2.uni-freiburg.de/euro_soil/abstracts/id205_Babenko_full.pdf)).
- BENZ, U.S., HOFMANN, P., WILLHAUCK, G., LINGENFELDER, I. & HEYEN, M., 2004: Multiresolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. – ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, **58**: 239–258.
- BLASCHKE, T., 2000: Objektextraktion und regelbasierte Klassifikation von Fernerkundungsdaten: Neue Möglichkeiten für GIS-Anwender und Planer. – In: SCHRENK, M. (Hrsg.), 2000: CORP: Computergestützte Raumplanung, **5**, Wien.

- BUCK, A., DE KOK, R., SCHNEIDER, T., & AMMER, U., 1999: Integration von Fernerkundung und GIS zur Beobachtung und Inventur von Schutzwäldern in den Bayerischen Alpen. – In: STROBL, J. & BLASCHKE, T. (Hrsg.), 1999: Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XI, Wichmann, Heidelberg, 94–101.
- FINGAS, M., 2000: The Basics of Oil Spill Cleanup. – 2. Aufl., S. 233, CRC Press LLC, Canada.
- HESE, S. & SCHMULLIUS, C., 2006: High Resolution Oil Spill Mapping in West Siberia. – 57. Berg- und Hüttenmännischer Tag, Freiburger Forschungsforum 2006, Kolloquium 2, Geomonotoring in der Energie und Rohstoffwirtschaft mit Methoden der Fernerkundung, 21.–22. Juni 2006, Freiberg.
- HINTE, T.V., 2005: Managing Impacts of Major Projects: An Analysis of the Enbridge Gateway Pipeline Proposal. – M. R. M. research project 374, Simon Fraser University, Burnaby, BC. ([www.rem.sfu.ca/pdf/TimVanHinte.pdf](http://www.rem.sfu.ca/pdf/TimVanHinte.pdf)).
- HOFMANN, P., 2001: Detecting urban features from IKONOS data using an object-oriented approach. – Remote Sensing & Photogrammetry Society, Proceedings of the First Annual Conference of the Remote Sensing & Photogrammetry Society, 12.–14. September 2001: 28–33.
- Iwaco Report 2001: West Siberia Oil Industry Environmental and Social Profile, Final Report, edited by M. LODEWIJKX, V. INGRAM & R. WILLEMSE, June 2001. (<http://www.greenpeace.nl/raw/content/reports/west-siberia-oil-industry-envi.pdf>).
- NEUBERT, M. & MEINEL, G., 2002: Segmentbasierte Auswertung von IKONOS-Daten – Anwendung der Bildanalyse-Software eCognition auf unterschiedliche Testgebiete. – In: BLASCHKE, T. (Hrsg.), 2001: Fernerkundung und GIS: Neue Sensoren – Innovative Methoden. – 1. Aufl., S. 271, Wichmann Verlag, Heidelberg: 108–117.
- SCHIEWE, J., 2002: Segmentation of high-resolution remotely sensed data-concepts, applications and problems. – Proceedings of the Joint International Symposium on Geospatial Theory, Processing, and Applications, 9.–12. July, Ottawa, Canada: 6–11.
- WILLHAUCK, G., 2000: Comparison of object oriented classification techniques and standard image analysis for the use of change detection between SPOT multispectral satellite images and aerial photos. – International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Amsterdam, The Netherlands, **33**: 214–221.
- Worldbank (1994): Russian Federation – Second Oil Rehabilitation Project, Draft Environmental Impact Assessment, March 1994. ([http://www-wds.worldbank.org/servlet/WDSContentServer/WDSP/IB/1994/03/01/000009265—3970702135243/Rendered/PDF/multi\\_page.pdf](http://www-wds.worldbank.org/servlet/WDSContentServer/WDSP/IB/1994/03/01/000009265—3970702135243/Rendered/PDF/multi_page.pdf)).

#### Anschrift der Autoren:

B. Sc. Geogr. JOHANNES REICHE  
 Dr. SÖREN HESE  
 Prof. Dr. CHRISTIANE SCHMULLIUS  
 Abteilung Fernerkundung,  
 Institut für Geographie  
 Friedrich-Schiller-Universität Jena  
 Löbdergraben 32, D-07743 Jena  
 Tel.: 03641-948878, Fax: 03641-948882  
 e-mail: [johannes.reiche@uni-jena.de](mailto:johannes.reiche@uni-jena.de)  
[soeren.hese@uni-jena.de](mailto:soeren.hese@uni-jena.de)  
[c.schmullius@uni-jena.de](mailto:c.schmullius@uni-jena.de)

Manuskript eingereicht: Januar 2007  
 Angenommen: April 2007



Anhang 1: Schematische Darstellung der klassenbezogenen Merkmale der entwickelten Methode.



## RAMMS – a Modeling System for Snow Avalanches, Debris Flows and Rockfalls based on IDL\*

MARC CHRISTEN, PERRY BARTELT & URS GRUBER, Davos

**Keywords:** Photogrammetry, snow avalanches, debris flows, prediction of avalanches, modelling systems for avalanches

**Summary:** Snow avalanches threaten villages, roads and railways in most mountainous regions in the world. Numerical simulation tools are required by engineers and land planners to predict avalanche runout distances and velocities in complex mountain terrain.

**Zusammenfassung:** *RAMMS – Ein Modellierungssystem für Lawinen, Murgänge und Steinschlag auf der Grundlage von IDL.* Lawinen bedrohen Ortschaften, Straßen und Eisenbahnlinien in den meisten Gebirgsregionen der Welt. Praktische Erfahrung und numerische Berechnungsmodelle sind erforderlich, damit Ingenieure und Landschaftsplaner Vorhersagen für Lawinen, ihren möglichen Verlauf und ihre Geschwindigkeit im Gebirge machen können.

---

The SLF is developing a unified software package RAMMS (Rapid Mass Movements) that combines three-dimensional process modules for snow avalanches, debris flows and rockfalls, together with a protect module (forest, dams, barriers) and a visualization module (GUI) in one tool. Because the system is linked with a GIS environment, RAMMS is a powerful, user-friendly tool for hazard mitigation studies in mountainous regions that are affected by gravity driven, rapid mass movements.

This report concentrates on the application of RAMMS in snow avalanche hazard mapping, which involves predicting flowing avalanche runout distances, impact pressures and flow velocities. The development of RAMMS started two years ago, using IDL's new Intelligent Tools, or iTools™. The pre-built tools, user interface controls and custom algorithms reduce our programming effort exceedingly and are integrated seamlessly. We made use of the iTools framework to build our completely customized graphical user interface, where we implemented iTools functionality, see Fig. 1.

Toolbar functions (printing, annotating, zooming, rotating, undo/redo, etc.), panels, status bar messaging, highlighting various parts of a surface using light objects and other useful tools from the iTools were implemented very easily. The visualization objects are defined as polygons, where maps, orthophotos and input parameters are mapped (as texture maps) on top. We use IDL to handle all the input and output specifications and visualizations. IDL's data ana-

---

\* RAMMS – Rapid Mass Movements, ein Modellierungssystem für Lawinen, Murgänge und Steinschlag

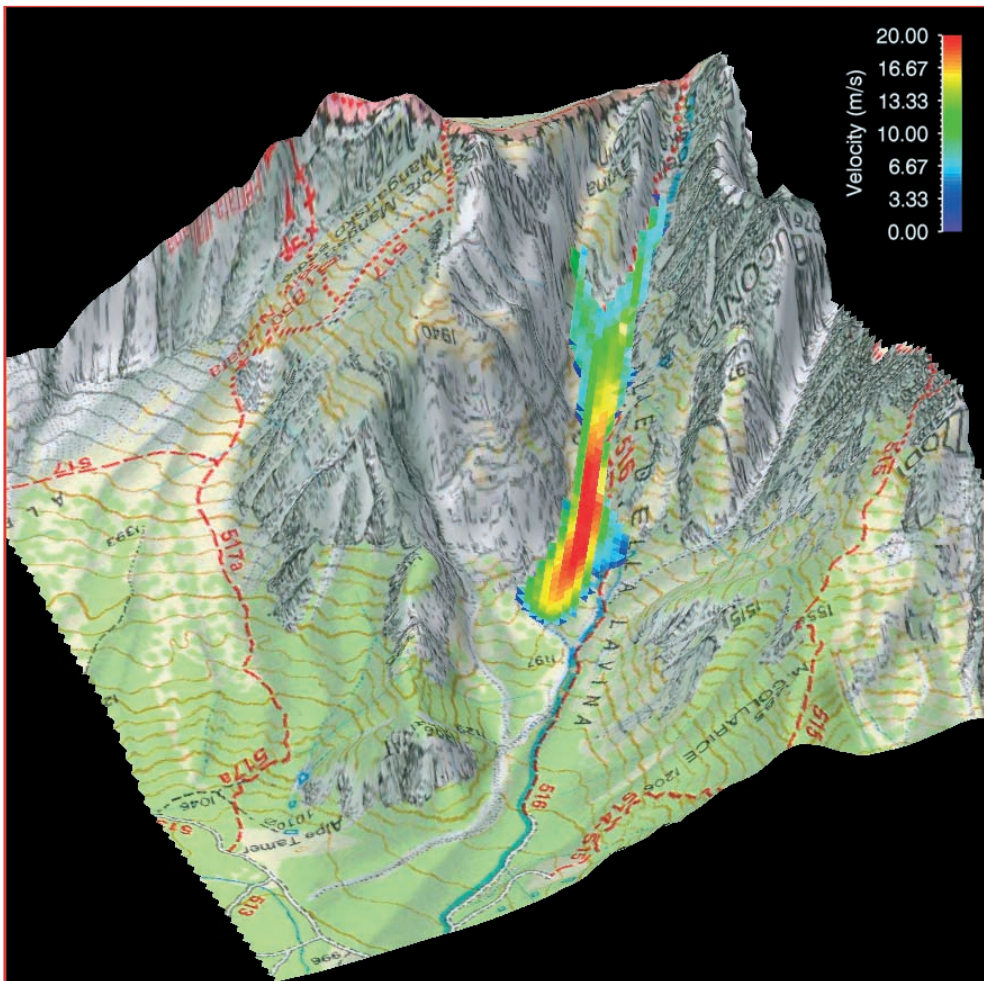
WSL – Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft in Birmensdorf/Zürich

SLF – Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung in Davos (ein Forschungsinstitut der WSL)

IDL – Interactive Data Language

GUI – Graphical User Interface, Visualisierungsmodul





**Fig. 1:** The picture depicts the graphical user interface (GUI) of RAMMS. The simulation shows the position of a dense flow avalanche after 50 seconds. The avalanche flow velocity is stated in different colors, where red denotes flow velocities  $> 20$  m/s and blue denotes small flow velocities. A georeferenced map is used as background for the topography (see cover page).

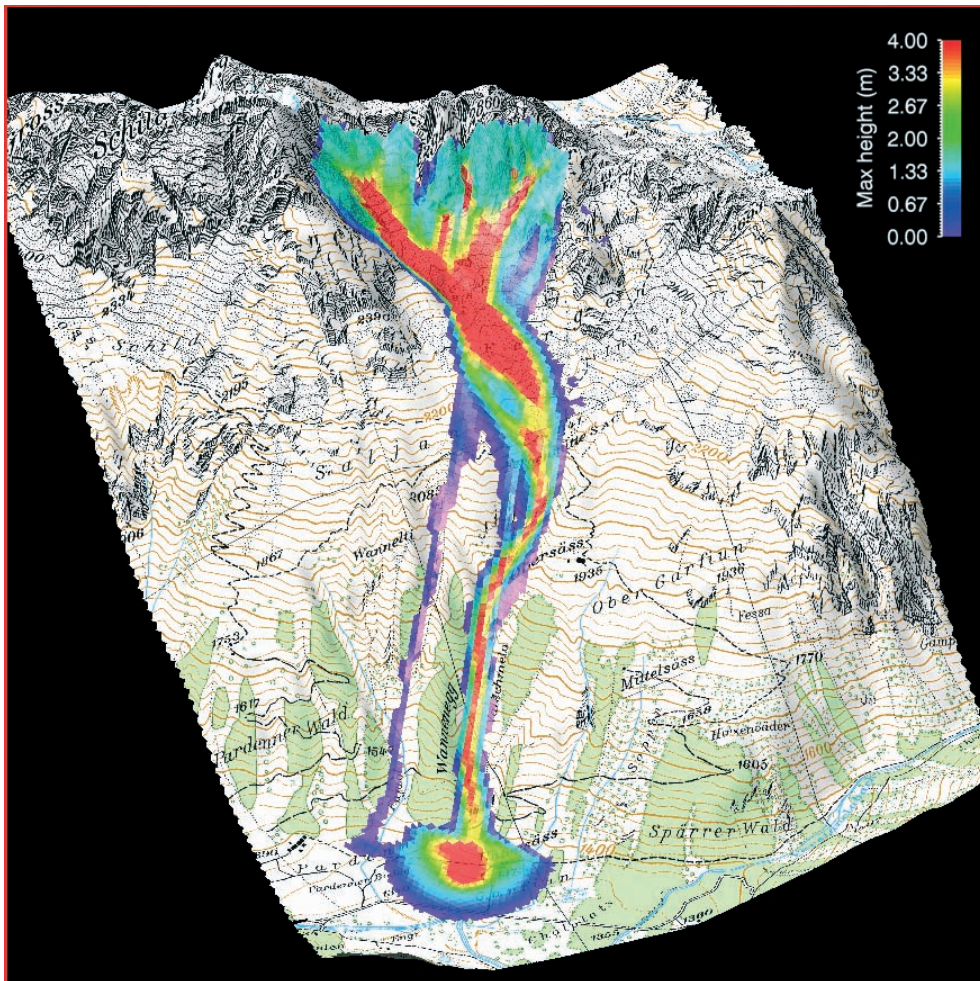
lysis ability is used to handle large DTM (digital terrain model) data sets. The DTM data (together with other input specifications) is then used to describe the depth-averaged motion of dense flowing avalanches in general three-dimensional terrain, employing a finite volume scheme that numerically solves the governing differential equations.

The numerical module is programmed in C which can be linked to the IDL interface.

The binary output results are then read, displayed and analysed with IDL, see Fig. 2.

The interactivity between different iTool types is a very important feature to analyse the output results in RAMMS. Line profiles and points can be drawn and displayed in an additional XY-Plot (iPlot).

Results can be exported as ESRI Shapefiles and compared in ArcGis with real data from our large scale avalanche test sites. ESRI Shapefiles can also be imported into



**Fig. 2:** This example shows the maximum flow height values from a dense flow avalanche simulation. The avalanche flow height is stated in different colors, where red denotes flow heights  $> 4$  m and blue denotes small flow heights. A georeferenced map is used as background for the topography.

RAMMS. Additionally, GIF files, GIF animations and ASCII files can be exported and used in reports and web-sites.

RAMMS will be available to the natural hazard practitioners in the course of 2007. Thanks to IDL's Virtual Machine™, no additional licensing costs are necessary to distribute the software.

The new functionality of IDL's iTools™ is the perfect solution for our software package RAMMS, combining DTM data analy-

sis, visualizations, GIS and C interactivity and GUI user friendliness\*\*.

## References

- CHRISTEN, M., BARTELT, P & GRUBER, U., 2007: Modelling Avalanches. – GEOconnexion International Magazine, April 2007, p.38/39. [www.slf.ch](http://www.slf.ch), [www.creaso.com](http://www.creaso.com)

\*\* Siehe auch „Zum Titelbild“, Seite 301

Anschrift der Autoren:

Dipl.-Bauing. ETH MARC CHRISTEN  
e-mail: christen@slf.ch

Dr. Sci. Techn. PERRY BARTELT  
Eidgenössisches Institut für Schnee- und  
Lawinenforschung SLF, Flüelastr. 11  
CH-7260 Davos Dorf

Dr. Sci. Nat. URS GRUBER  
Fürstenlandstr. 22  
CH-9500 Wil

Manuskript eingereicht: Februar 2007

Angenommen: April 2007

## Hochschulnachrichten

### Universität der Bundeswehr

München

Dipl.-Ing. UWE BACHER promovierte am 7. April 2006 an der Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen der Universität der Bundeswehr München mit der Dissertation: „*Automatische Straßenextraktion aus optischen Satellitenbildern hoher und höchster Auflösung*“ zum Dr.-Ing.

1. Gutachter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. HELMUT MAYER, Universität der Bundeswehr München.

2. Gutachter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. UWE STILLA, Technische Universität München.

### Zusammenfassung

Die vorgelegte Arbeit stellt ein Verfahren für die Extraktion von Straßen in der offenen Landschaft in Südosteuropa und Nordafrika vor, das die Erfassung von Straßennetzen für große Gebiete unterstützt. Ein besonderes Augenmerk liegt auf der Nutzung von Satellitenbilddaten unterschiedlicher Auflösung, um eine Neuerfassung des Straßennetzes für ganze Länder mit einem ausgewogenen Verhältnis zwischen erzielbarer Genauigkeit und Wirtschaftlichkeit durchführen zu können. Der Einsatz bzw. die Beschaffung der Satellitenbilddaten richtet sich bei dem vorgeschlagenen Verfahren nach der Detaillierung der Landschaft und damit des Straßennetzes in einer Region: Je dichter das Straßennetz ist, desto höher sollte die Auflösung der für die Extraktion verwendeten Bilddaten sein. Dementsprechend sind die Ansätze zur Straßenextraktion bei dem vorgeschlagenen Verfahren in zwei Teile unterteilt: Die Extraktion von Straßen aus (i) multispektralen Satellitenbilddaten höchster Auflösung und aus (ii) hoch aufgelösten Satellitenbilddaten.

Bei Satellitenbilddaten höchster Auflösung wird die spektrale Information mit Linienextraktion kombiniert und führt zur Generierung von Straßenhypothesen. Die

Nutzung der spektralen Information erfolgt mittels eines automatischen (Fuzzy-)Klassifikationsansatzes mit dem Ziel, für jedes Bildelement den Zugehörigkeitswert zur Klasse Straße zu ermitteln. Dies führt zum Straßenklassenbild. Die spektralen Signaturen der im Bild auftretenden Straßen werden durch die automatische Generierung von Trainingsgebieten auf Grundlage paralleler Kanten ermittelt. Der Klassifikationsansatz bietet die Möglichkeit, neben den spektralen Eigenschaften von Straßen zusätzliche Bedingungen, wie z. B. den Abstand eines Trainingsgebiets vom betrachteten Pixel, zu nutzen. Die Grundlage des Straßennetzes bilden Straßenhypothesen, die in Form von Liniensegmenten extrahiert werden. Die Verifikation der Straßenhypothesen erfolgt durch Bewertung mit geometrischen (Länge und Breite der Linie) und radiometrischen (mittlerer Zugehörigkeitswert der Linie zur Klasse Straße) Kriterien. Aus den verifizierten Straßenhypothesen wird ein topologisches Netzwerk aufgebaut. Für die Überbrückung von größeren Lücken wird im Rahmen der globalen Gruppierung ein auf Ziplock-Snakes basierendes Verfahren verwendet. Dieses optimiert den Verlauf einer neu eingeführten Verbindung und überprüft ihn auf Plausibilität auf Grundlage des Straßenklassenbildes.

Für hoch aufgelöste Satellitenbilddaten wird ein dreigeteilter Ansatz verwendet. Die Entscheidung, welcher Ansatz verwendet wird, hängt von dem Kontextgebiet „landwirtschaftlich genutzt“, „Wüste“ oder „Gebirge“ ab. Für „Wüste“ und „Gebirge“ wird der am Lehrstuhl für Photogrammetrie und Fernerkundung der Technischen Universität München entwickelte Ansatz verwendet. Der Unterschied zwischen den beiden Kontextgebieten besteht in der Wahl des Bewertungsparameters für die maximale Krümmung im Verlauf einer Straße. Dieser wird für „Gebirge“, in denen sich Straßen oft sehr stark an die bewegte Topographie anpassen, freigegeben und liegt für „Wüste“



innerhalb gewisser Grenzen. Für „landwirtschaftlich genutzte“ Gebiete, in denen Straßen häufig nur indirekt anhand von Feldgrenzen wahrgenommen werden, wurde ein Gruppierungsansatz entwickelt. Paare von Linien- und Kantenstücken, d. h. lineare Strukturen, werden auf Kollinearität überprüft und gegebenenfalls durch eine Ziplock-Snake verbunden. Die so entstandenen Straßenabschnitte werden zu einem topologischen Netzwerk verknüpft.

Anhand ausführlicher experimenteller Untersuchungen wird die Leistungsfähigkeit aufgezeigt. Aber es werden auch Schwächen des Verfahrens sichtbar. Hierfür werden Daten aus Gebieten unterschiedlicher Detaillierung und aus allen Kontextgebieten verwendet. Die Güte der erzielten Ergebnisse wird anhand von Referenzdaten bewertet. Während die Ergebnisse für die am höchsten

aufgelösten Daten vor allem durch die Nutzung der multispektralen Information durchweg als praktisch verwendbar oder zumindest viel versprechend bewertet werden können, müssen die Ergebnisse für die hoch aufgelösten Daten differenzierter bewertet werden. Für die Gebiete „Wüsten“ und „Gebirge“ sind die Ergebnisse als akzeptabel anzusehen. Für „landwirtschaftlich genutzte“ Gebiete stellt der vorgestellte Gruppierungsansatz zwar eine große Verbesserung dar, allerdings sind die Ergebnisse in der jetzigen Form praktisch nur bedingt brauchbar. In diesen Gebieten sollten für eine Automatisierung höchst aufgelöste Daten verwendet werden.

Die Arbeit ist auf dem Hochschulschriftenserver der Universitätsbibliothek der UniBw online verfügbar unter: <http://137.193.200.177/ediss/bacher-uwe/inhalt.pdf>.

## Persönliches

### ROBIN LETELLIER in Memoriam

In tiefer Trauer nehmen die deutsche Photogrammetrie und der Denkmalschutz in Deutschland Abschied von ROBIN LETELLIER, der am 20. April 2007 während einer Lehrveranstaltung für einen Konservator-Masterkurs an der University of Pennsylvania in Philadelphia verstorben ist.

ROBIN LETELLIER hat sich nicht zuletzt auch als CIPA Vizepräsident durch sein unermüdliches Eintreten für die Überwindung der Kluft zwischen Produzenten und Anwendern von Information im Denkmalschutz, auch um die deutsche Photogrammetrie verdient gemacht. So ist seine vehemente Werbung für dieses Konzept, z. B. bereits anlässlich des CIPA Symposiums 2001 in Potsdam, allen Beteiligten in bleibender Erinnerung.

ROBIN LETELLIER beendete 1969 sein Architekturstudium an der Laval University in Quebec City (Kanada). Bereits ab 1970 bis 1997 wirkte er als Leiter des Dokumentationszentrums für die Verwaltung der Kul-

turdenkmäler der Nationalparks in Kanada, inklusive der Goldrauschstädte am Klondike und am Yukon, wie er nicht ohne Stolz hinzuzufügen pflegte.

Von 1974 bis 1999 war ROBIN LETELLIER Kanadas nationaler CIPA-Delegierter. Er war auch Gründungsmitglied des „Recording and Documentation Committee“ der kanadischen Sektion von ICOMOS (International Council of Monuments and Sites), dessen Vorsitz er von 1983 bis 1991 innehatte.

Zwischen 1984 und 1999 gab er jährlich am Zentrum der Internationalen Organisation für den Denkmalschutz in Rom (ICCROM) Kurse in Dokumentation und Informationsverarbeitung.

Seit 1996 fungierte ROBIN LETELLIER als Berater zahlreicher nationaler und internationaler Denkmalschutz-Organisationen. In letzter Zeit hat er im Rahmen von Seminaren, Workshops und Vortragsreihen u. a. in Brasilien, Indonesien, Italien, Japan, Laos, Österreich, auf den Philippinen, in Polen, Slowenien und Thailand neue Methoden



zum Management von Baudenkmalern gefördert.

ROBIN LETELLIER arbeitete in sehr enger Kooperation mit dem Getty Conservation Institute (GCI) in einer „Bridging-the-Gap“ Initiative daran, im Rahmen von Partnerschaften zwischen internationalen Denkmalschutzorganisationen wie ICOMOS, UNESCO, ICCROM, CIPA, GCI usw. eine Verbesserung der Standards und der Praxis zum Management von Baudenkmalern zu erreichen.

Wenn es noch Vorbilder gibt, so gehört ROBIN LETELLIER unzweifelhaft dazu. Seine periodischen internationalen RecorDIM Roundtable-Veranstaltungen zur Verbesserung des Managements im Denkmalschutz unter dem Dach von CIPA, ICOMOS und GCI waren Legende. Durch die Konsequente Vorlage von Progress Reports mit Vortrag und Diskussion förderte er die Effektivität dieser inzwischen 16 internationalen Arbeitsgruppen.

Als ein bleibendes Resultat seiner Arbeit als Internationaler Koordinator der Recor-

DIM Initiative und damit seines Schaffens sei nicht zuletzt auch allen Kritikern zum Trotz auf das vom GCI publizierte Buch mit dem Titel „Recording, Documentation and Information Management for the Conservation of Heritage Places – Guiding Principles“ verwiesen, für dessen posthume Herausgabe der Name ROBIN LETELLIER steht und das auch international bereits stark nachgefragt wird.

ROBIN LETELLIER war eine sehr präzente Persönlichkeit, mit der eine Zusammenarbeit als großes Glück empfunden wurde.

ROBIN war aber auch ein ausgeprägter Familienmensch, was z. B. wieder anlässlich des noch kürzlich von ihm organisierten Familientreffens der kanadischen Letelliers deutlich wurde. ROBIN hinterlässt eine Frau und zwei Kinder, denen unser Mitgefühl gilt.

In ROBIN haben wir einen Kollegen und Freund verloren, der im Alter von 63 Jahren viel zu früh von uns ging.

WALTER SCHUHR, Magdeburg  
FRANCOIS LEBLANC, Los Angeles

## Buchbesprechungen

REINHARD BENTMANN & JAN NIKOLAUS VIEBROCK, (Hrsg.), 2006: Hessische Baukunst in alten Fotografien, Dokumentaraufnahmen der Preußischen Messbildanstalt zu Berlin von Albrecht Meydenbauer. Arbeitshefte des Landesamtes für Denkmalpflege Hessen Bd. 9, 196 S. m. zahlr. Abb., Theiss Verlag Stuttgart, ISBN 978-3-8062-2069-8.

Das hessische Landesamt für Denkmalpflege hat mit seinem aktuellen Arbeitsheft ‚Hessische Baukunst in alten Fotografien‘, herausgegeben von Reinhard Bentmann und Jan Nikolaus Viebrock, eine Reise in die Vergangenheit unternommen, die sowohl zu den hessischen Baudenkmalern in Preußen wie zu den Ursprüngen der Photogrammetrie gegen Ende des 19. Jahrhunderts führt. Im Jahre 1858 hatte der ‚Regie-

rungs-Bauführer‘ Albrecht Meydenbauer bei einer Bauaufnahme des Wetzlarer Doms die Grundidee, durch Umkehrung der Zentralperspektive die Fotografie zur Bauaufnahme und damit zur Vermessung zu nutzen. Albrecht Meydenbauer entwickelte zeitgleich jedoch unabhängig von Aimé Laussedat die Methode der Photogrammetrie – der Begriff wurde von Meydenbauer im Jahre 1867 geprägt. Albrecht Meydenbauer hatte sich mit seinem Lebenswerk zwei wesentlichen Zielen verschrieben: der Entwicklung und ständigen Verbesserung der photogrammetrischen Instrumente und Auswertemethoden sowie der Errichtung eines gesamtdeutschen Denkmalarchivs auf der Basis photogrammetrischer Aufnahmen. Mit der Gründung der ‚Königlich Preußischen Messbild-Anstalt‘ im Jahre 1885 hat Meydenbauer dieses Ziel für das

preußische Staatsgebiet erreicht. Eine Ausweitung dieses photogrammetrischen Denkmalinventars auf das gesamte Deutsche Reich ist Meydenbauer trotz vielfältiger Bemühungen nicht gelungen.

Anhand der Aufnahmen Meydenbauers von Hessischen Baudenkmalern aus den Jahren 1883 bis 1911 wird in dem vorliegenden Band die Entwicklung der Photogrammetrie mit der regionalen Bau- und Kunstgeschichte verknüpft. Die dazu von Reinhard Bentmann verfassten Texte sind weit mehr als eine Erläuterung zu den Dokumentationsaufnahmen Meydenbauers. Sie sind eine äußerst kenntnisreiche Einführung in die Bau- und Kunstgeschichte, in die Stadt- und Siedlungsgeschichte sowie in die kulturellen Besonderheiten der abgebildeten Bauwerke, Plätze oder Ausstattungsdetails. Angereichert mit Anekdoten ist dieser Abschnitt des Buches spannend zu lesen. Die Verbindung von Bild und Text führt den Leser direkt in die historischen Bauwerke und ihre besondere Geschichte. Die damit erreichte Verbindung zwischen photogrammetrischer Dokumentation und bauhistorischer Analyse kann gleichsam für die Arbeit mit photogrammetrischen Dokumentationen stehen: Sie ist Werkzeug der Bauforschung, Kunstgeschichte oder Archäologie und kann ihren Wert erst in einer umfassenden bauhistorischen Analyse entfalten.

Die Besonderheit gegenüber früheren Publikationen zum Wirken Meydenbauers<sup>1</sup> liegt in der Konzentration auf das Land Hessen. Durch die geografische Begrenzung wird eine umfassende Präsentation unterschiedlichster Objekte realisiert. In dieser Zusammenstellung kann anschaulich das Anliegen Meydenbauers nachvollzogen werden: Flächendeckende Dokumentation nicht nur herausragender Sakral- oder Profandenkmale sondern auch einzelner Bürgerhäuser oder Bauernhöfe, kompletter Platzanlagen oder Dörfer, herausragender

Ausstattungsdetails oder Einrichtungsgegenstände. Eine Dokumentation mit der Meydenbauer einerseits ein Archiv erschaffen hat, auf das im Falle einer Zerstörung des Bauwerks zurückgegriffen werden kann. Eine Dokumentation mit der Meydenbauer aber andererseits das Bewusstsein in der deutschen Bevölkerung für den Wert der deutschen Baudenkmalerschaffen wollte. In diesem Bestreben spiegelt sich der Zeitgeist der einsetzenden deutschen Denkmalpflege wider. In den Texten Bentmanns wird dieser Bezug z. B. durch die Verweise auf das Handbuch der Deutschen Kunstdenkmäler von Georg Dehio aufgenommen.

Die dargestellten Messbilder sind insgesamt in erstaunlicher Qualität reproduziert, Gebrauchsspuren wie Abplatzung der photographischen Schicht oder Risse in den Glasplatten sind bewusst nicht retuschiert worden. Für die Beurteilung der herausragenden Qualität der Messbilder wären beispielhafte Ausschnittvergrößerungen nützlich gewesen, mit denen auch für den photogrammetrischen Laien die hohe Auflösung der Originalglasplatten sichtbar wird. Die Aufnahmen sind überwiegend angelegt als typische objektive photogrammetrische Dokumentation. Daneben sind aber auch Aufnahmen vorhanden, in denen Meydenbauer die Bauwerke in ihrem Umfeld in Szene setzt und damit sein Talent für Bildkomposition und künstlerische Photographie unter Beweis stellt.

Im zweiten Abschnitt des Buches sind ein ausführlicher Lebenslauf Meydenbauers sowie seine Denkschrift zur Errichtung eines gesamtdeutschen Denkmalarchivs aus dem Jahre 1905 abgedruckt. Weiterhin gibt Jörg Albrecht eine kenntnisreiche Einführung in das umfassende photogrammetrische Wirken Albrecht Meydenbauers und in die Geschichte seines Denkmalarchivs. Die herausragende Stellung Meydenbauers als Pionier der Photogrammetrie und der Denkmaldokumentation werden hier zusammenfassend gewürdigt.

Von Gerd Weiss werden die Arbeiten Meydenbauers in die Inventarisierungsbestrebungen des 19. Jahrhunderts eingeordnet. Durch diesen Vergleich werden die me-

<sup>1</sup> Zum Beispiel die grundlegende Publikation von Rudolf Meyer ‚Baukunst in historischen Fotografien‘, Fotokino Verlag, Leipzig 1985 oder die Folianten ‚100 Years of Architectural Photogrammetry‘, Herausgeber VEB Carl Zeiss, Jena 1985.

thodischen Unterschiede belegt, sodass nachvollzogen werden kann, warum die photogrammetrische Dokumentation auch heute noch nicht den Stellenwert in der Denkmalpflege einnimmt, der ihr aufgrund ihrer Leistungsfähigkeit zustünde.

Die ‚Hessische Baukunst in alten Fotografien‘ ist jedem uneingeschränkt zu empfehlen, der sich auf unterhaltsame und anschauliche Weise sowohl über die Anfänge der Photogrammetrie wie über die Bau- und Kulturgeschichte des 19. Jahrhunderts informieren möchte.

ULRICH WEFERLING, Leipzig

TOBIA LAKES, (2006): Beitrag des Informationsmanagements für den Einsatz neuer Fernerkundungsdaten in der städtischen Planung – am Beispiel der Stadtbiooptypenkartierung mit Flugzeugscannerdaten in Berlin. Dissertation Technische Universität Berlin, Fakultät VI. 239 S., 48 Abb., 20 Tab., Download unter <http://opus.kobv.de/tu-berlin/volltexte/2006/1325/>; (pdf, 6 MB)

Die Dissertationsschrift von Frau Dr. Lakes thematisiert den Transfer sowie die Operationalisierung neuer Fernerkundungsdaten und -methoden für den Einsatz in der Stadt- und Landschaftsplanung. Beispielhaft wird dies am Einsatz sehr hoch auflösender Flugzeugscannerdaten für die Stadtbiooptypenkartierung in Berlin gezeigt. Ziel der Arbeit ist es, Möglichkeiten aufzuzeigen, um den Einsatz neuer Fernerkundungstechnologien nicht nur im Rahmen von Pilotprojekten, sondern als dauerhafte Arbeitswerkzeuge in der Raumplanung zu etablieren. Den systemischen Ansatz des Informationsmanagements verfolgend werden als Werkzeug hierfür internetbasierte raumbezogene Informationssysteme vorgeschlagen, deren Potenziale für die Planung in Deutschland bisher kaum wissenschaftlich evaluiert worden ist.

Im einleitenden Teil wird zunächst die Zielsetzung der Arbeit erläutert. Anschließend wird, ausgehend von den Bedürfnissen städtischer Planung und des Forschungsstandes, die aktuelle Situation des Einsatzes

von Geodaten – und Fernerkundungsdaten im Speziellen – in der städtischen Planung erläutert. Von besonderem Interesse sind die Darstellungen planungsunterstützender, insbesondere internetbasierter Informationssysteme sowie des Informationsmanagements – bislang in der Planung kaum betrachtete Aspekte.

Im Folgekapitel werden die Chancen und Grenzen digitaler Flugzeugscannerdaten für den Anwendungsbereich der Stadtbiooptypenkartierung analysiert. Die Eigenschaften der verwendeten HRSC-A- bzw. HRSC-AX-Daten werden beschrieben, wobei auch ein Vergleich mit herkömmlich eingesetzten gescannten CIR-Luftbildern erfolgt.

Die Anwendungsmöglichkeiten der HRSC – Daten für stadttökologische Fragestellungen werden anhand einer flächendeckenden Stadtbiooptypenkartierung analysiert und diskutiert. Deren Nutzen wird durch praktisch-planerische Beispiele der Versiegelungskartierung, der Erfassung des Biotopflächenfaktors und der Flächenauswahl für einen städtischen Biotopverbund erläutert. Nützlich sind dabei die Ausführungen zu Potenzialen, Grenzen sowie möglichen Fehlerquellen bei der HRSC-gestützten Erfassung der Stadtbiooptypenkartierung (z. B. thematische Unterscheidung ähnlicher Biooptypen) oder der Versiegelungskartierung (z. B. Differenzierung der Versiegelungsart).

Im folgenden Abschnitt der Arbeit wird das Informationsmanagement Berlins zur Operationalisierung von Fernerkundungsdaten analysiert – unterlegt mit Zitaten aus den der Studie zu Grunde liegenden Experteninterviews. Der Datenbedarf seitens verschiedener Akteure der städtischen Planung wird herausgearbeitet und die Faktoren der Berliner Informationsinfrastruktur untersucht sowie hilfreiche Empfehlungen zur künftigen Entwicklung gegeben. Es wird gezeigt, dass Fernerkundungsdaten mehr und mehr zu einem wichtigen integralen Bestandteil von Umweltinformationssystemen werden. Am Beispiel des Berliner FIS-Brokers (Fachübergreifendes Informationssystem Broker, engl. Vermittler) werden die Möglichkeiten und auch Grenzen neuer ver-

teilter Systeme für den Umgang mit Geodaten in der städtischen Planung dargestellt.

Im abschließenden Diskussionsteil werden die Ergebnisse adäquat zusammengefasst und den eingangs aufgestellten Thesen gegenübergestellt.

Der Autorin ist es in der umfassenden Studie gelungen, die weitgehend selbstständigen Forschungsbereiche der Landschafts- und Stadtplanung und der Fernerkundung zu verknüpfen. Als Bindeglied dient dabei der Ansatz des Informationsmanagements. Die Arbeit leistet wesentliche Beiträge für

die Methodenforschung der Geoinformatik in der Landschafts- und Stadtplanung: die Qualifizierung und Evaluierung von Auswertungsverfahren für Flugzeugscannerdaten, die Einbindung qualitativer Methoden der Datenerhebung durch Experteninterviews und die Analyse von Umweltinformationssystemen. Die Arbeit richtet sich insbesondere an Praktiker sowie ausführende Behörden, gleichzeitig sind weite Teile der Arbeit darüber hinaus von hohem wissenschaftlichem Interesse.

MARCO NEUBERT, Dresden

## Mitteilungen der DGPF

### e-mail – Rundschreiben des Präsidenten der DGPF

In Zukunft wird Prof. THOMAS LUHMANN in seiner Funktion als Präsident der DGPF in regelmäßigen Abständen die Mitglieder per e-mail über aktuelle Fragen informieren. Begonnen wurde mit dieser Form der schnellen und kostengünstigen Kommunikation bereits im Herbst 2006.

Mitglieder der DGPF, die bisher keine e-mail-Rundschreiben des Präsidenten erhalten haben, werden gebeten, sich bei Dr.-Ing. HERBERT KRAUß, Schatzmeister der DGPF, unter e-mail: herbert.krauss@rwe.com zu melden.

### Zum Wechsel in der Schriftleitung der PFG

Vor meinem Ausscheiden aus der Schriftleitung der PFG mit diesem Heft 4/2007 möchte ich mich hiermit noch bei allen bedanken, mit denen ich in den vergangenen 10 Jahren in sehr angenehmer und freundschaftlicher Atmosphäre zusammenarbeiten konnte. Dazu gehören vor allem die jeweiligen Präsidenten der DGPF:

- Prof. JÖRG ALBERTZ, Berlin (1996–2000)
- Dr. KLAUS – ULRICH KOMP, Münster (2000–2004)
- Prof. THOMAS LUHMANN (2004–heute) und ihre Vorstandsmitglieder. Dazu gehören auch:

- Prof. FRANZ LIST, Berlin, (Präsident der DGPF 1992–1996), der mich 1997 für die Übernahme der Schriftleitung geworben und einige Jahre als Schriftleiter fachlich begleitet hat,
- Dr. ECKHARDT SEIFERT, Potsdam, Schriftleiter von 1997 bis heute,
- Prof. CARSTEN JÜRGENS, Bochum, Schriftleiter von 2003 bis heute,
- Dr. HERBERT KRAUß, Köln, Schatzmeister der DGPF von 1997 bis heute, der alle Finanzfragen im Zusammenhang mit der PFG vorbildlich geregelt hat, und
- Dr. MANFRED WIGGENHAGEN, Sekretär der DGPF und WEB-Master von 1998 bis heute.

Hervorzuheben ist an dieser Stelle auch die sehr gute Unterstützung der Schriftleitung durch den Redaktionsbeirat der PFG und durch die Leiter der Arbeitskreise der DGPF.

Zuletzt möchte ich mich an dieser Stelle auch für die vorzügliche Kooperation mit dem Verlag – E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung Stuttgart – bedanken. Insbesondere Frau REGINE HÄGELE, Dr. ERHARD NÄGELE und Dr. WALTER OBERMILLER sowie die Druckerei Tutte GmbH in Salzweg/Passau haben wesentlich zur Qualität und termingerechten Auslieferung der PFG beigetragen.

KLAUS SZANGOLIES, Jena

## Vorankündigungen

2007

20.–24. August: **IPY GeoNorth 2007**–1<sup>st</sup> International Circumpolar Conference on **Geospatial Sciences & Applications in Yellowknife**, NW Territories Canada. Auskünfte: e-mail: [ipygeonorth2007@NRCan.gc.ca](mailto:ipygeonorth2007@NRCan.gc.ca), <http://ess.nrcan.gc.ca/ipygeonorth/>

28./29. August: **ISPRS Workshop on „Updating Geo-spatial Databases with Imagery“ & the 5<sup>th</sup> ISPRS Workshop on DMGIS in Urumchi**, China. Auskünfte durch: Jie Jiang, Tel.: +86-10-6848 3218, e-mail: [jiangjie\\_263@263.net](mailto:jiangjie_263@263.net), [www.isprs-wg41.nsd.gov.cn](http://www.isprs-wg41.nsd.gov.cn)

3.–5. September: **Geocomputation 2007 Conference in Maynooth**, Irland. Auskünfte durch: Urska Demsar, e-mail: [geocomputation@nuim.ie](mailto:geocomputation@nuim.ie), <http://necg.nuim.ie/geocomputation/>

3.–7. September: **51. Photogrammetrische Woche 2007 in Stuttgart**. Auskünfte durch: Martina Kroma, Tel.: +49-711-121 3386, Fax: +49-711-121 3297, e-mail: [martina.kroma@ifp.uni-stuttgart.de](mailto:martina.kroma@ifp.uni-stuttgart.de), [www.ifp.uni-stuttgart.de/](http://www.ifp.uni-stuttgart.de/)

10./11. September: **44. AgA-Tagung „Arbeitsgruppe Automation in Kartographie, Photogrammetrie und GIS“** der DGfK in **Karlsruhe**, Hochschule für Technik. Auskünfte durch: Prof. Gerd Schweinfurth, Karlsruhe und [www.ikg.uni-hannover.de/aga](http://www.ikg.uni-hannover.de/aga)

10.–12. September: **10. AGIS-Seminar „GIS & Internet“** der Arbeitsgemeinschaft Geoinformationssysteme GIS (AGIS) der Universität der Bundeswehr München in **Neubiberg**. Auskünfte: <http://www.unibw.de/bauv11/geoinformatik/weiterbildung>

12.–14. September: **ISPRS WG I/4, IV/9 Workshop & Annual Conference of the Re-**

**mote Sensing and Photogrammetry Society (RSPSoc) 2007 „Challenges for earth observation – scientific, technical and commercial“** in **Newcastle upon Tyne**, UK. Auskünfte durch: Jon Mills, e-mail: [j.p.mills@ncl.ac.uk](mailto:j.p.mills@ncl.ac.uk), David Holland, e-mail: [david.holland@ordnancesurvey.co.uk](mailto:david.holland@ordnancesurvey.co.uk) und [rspsoc@nottingham.ac.uk](mailto:rspsoc@nottingham.ac.uk), Tel.: +44-115-951 5435 [www.rspsoc2007.org/](http://www.rspsoc2007.org/)

12.–14. September: **ISPRS WG III/3, III/4, V/3 Workshop on Laser Scanning – LS 2007** in **Espoo**, Finnland. Auskünfte durch: Juha Hyypä, Tel.: +358-9-2955-5305, Fax: +358-9-2955-5200, e-mail: [juha.hyypa@fgi.fi](mailto:juha.hyypa@fgi.fi), [www.foto.hut.fi/ls2007/ls2007.html](http://www.foto.hut.fi/ls2007/ls2007.html)

12.–15. September: **45. Wissenschaftliche Tagung des Deutschen Markscheider-Vereins „Wir geben die Richtung vor“** in **Leipzig**. Auskünfte durch: Carsten Wedekind, e-mail: [c.wedekind@wismut.de](mailto:c.wedekind@wismut.de) oder [geschaeftsstelle@dmv-ev.de](mailto:geschaeftsstelle@dmv-ev.de), [www.dmv-ev.de](http://www.dmv-ev.de) („Aktivitäten“)

19.–21. September: **ISPRS WG III/4 + 5, IV/3 Workshop „Photogrammetric Image Analysis“ (PIA07)** in **München**. Auskünfte durch: Uwe Stilla, Tel.: +49-89-289-22671, Fax: +49-89-280-9573, e-mail: [stilla@bv.tum.de](mailto:stilla@bv.tum.de), [www.ipk.bv.tum.de/isprs/pia07](http://www.ipk.bv.tum.de/isprs/pia07)

19.–23. September: **Conference on Spatial Information Theory (COSIT)** in **Melbourne**, Australien. Auskünfte durch: Stephan Winter, Tel.: +61-3-8344-7875, Fax: +61-3-9347-2916, e-mail: [winter@unimelb.edu.au](mailto:winter@unimelb.edu.au), <http://www.cosit.info>

24.–26. September: **8<sup>th</sup> Conference Optical 3D Measurement Techniques** in **Zürich**. Auskünfte durch: Liliane Steinbrückner, e-mail: [stein@geod.baug.ethz.ch](mailto:stein@geod.baug.ethz.ch) oder Prof. A. Grün, e-mail: [agruen@geod.baug.ethz.ch](mailto:agruen@geod.baug.ethz.ch)

24.–28. September: **XIII ISM (International Society for Mine Surveying) Congress in Bu-**



**dapest.** Auskünfte durch: Tel.: +36-1-301-2945, e-mail: kalman\_baratosi@mbh.hu, www.ism.rwth-aachen.de

25.–27. September: **ISPRS WG II/1,VII/6+7 joint Conference on Techniques & Applications of Optical & SAR Imagery Fusion “Mapping without the Sun” in Chengdu, China.** Auskünfte durch: Secretariat, Tel.: +86-10-6824 7205, e-mail: imagefusion07@casm.ac.cn, www.commission7.isprs.org/wg6

25.–27. September: **13. INTERGEO 2007** „Wissen und Handeln für die Erde“ und **55. Deutscher Kartographentag in Leipzig**, Messegelände. Auskünfte: www.intergeo.de, www.kartographentag.net und www.hintemesse.de

29. September–5. Oktober: **56. Deutscher Geographentag – Kongress für Wissenschaft, Schule und Praxis in Bayreuth.** Auskünfte: www.geographie.de/

1.–6. Oktober: **ISPRS XXI CIPA International Symposium in Athen.** Auskünfte durch Organizing Committee, e-mail: cipa\_thens\_2007@survey.ntua.gr, Congress Secretariat, e-mail: Cipa07\_sec@triaenatours.gr, www.survey.ntua.gr/hosted/cipathens\_2007/

10.–12. Oktober: **26<sup>th</sup> Urban Data Management Symposium in Stuttgart.** Auskünfte: UDMS Executive Secretary, e-mail: info@udms.net, http://www.udms.net/

22.–26. Oktober: **4<sup>th</sup> International Conference “GIS in Geology & Earth Sciences” in Queretaro, Mexiko.** Auskünfte durch: Gabriel Origel-Gutierrez, Tel.: +52-442-23 81104140, e-mail: gorigel@geociencias.unam.mx, http://www.geociencias.unam.mx/gis\_geol\_2007.htm

5.–7. November: **Joint International Symposium and Exhibition on Geoinformation and International Symposium on GPS/GNSS 2007 in Johor Bahru, Malaysia.** Auskünfte durch: Md Nor Kamarudin, e-mail: md.

nor@fksg.utm.my und isg.gnss07@fksg.utm.my, http://www.isg-gnss07.com

12.–16. November: und 28<sup>th</sup> **Asian Conference on Remote Sensing ACRS2007 in Kuala Lumpur, Malaysia.** Auskünfte durch: Conference Secretariat, Tel.: +60-3-2697-3400, Fax: +60-3-2697-3350, e-mail: acrs2007@macres.gov.my, http://www.macres.gov.my/acrs2007

15.–17. November: **ISPRS WG VII/7 Workshop in Riaydh, Saudi-Arabien.** Auskünfte durch: Dr. Sultan Al Sultan, Tel.: +966-60-0050, e-mail: rsensing\_2004@yahoo.com

20.–23. November: **ISPRS WG I/6 Workshop on Earth Observation Small Satellites for Remote Sensing Applications in Kuala Lumpur, Malaysia.** Auskünfte durch: Mazlan Hashim, Tel.: +60-7-553-0873, Fax: +60-7-55-6163, e-mail: mazlan@fksg.utm.my, www.commission1.isprs.org/wg6

29./30. November: **2<sup>nd</sup> International Conference on Geospatial Semantics “GeoS 2007” in Mexico-City.** Auskünfte durch: Marco Moreno-Ibarra, Tel.: +5255-729-600056528, e-mail: marcomoreno@cic.ipn.mx, http://www.geosco.org/

4.–6. Dezember: **3<sup>rd</sup> International Conference “Earth from Space – the most Efficient Solutions” in Moskau.** Auskünfte durch: Tel.: +7-495-246-3853, e-mail: conference@scanex.ru, http://www.transparentworld.ru/conference/

12.–14. Dezember: **ISPRS WG IV/8 International Workshop on 3D Geo-Information: Requirements, Acquisition, Modeling, Analysis, Visualization “3D GeoInfo07” in Delft, Niederlande.** Auskünfte durch: Sisi Zlatanova, Tel.: +31-15-278-2714, Fax: +31-15-278-2745, e-mail: S.Zlatanova@tudelft.nl, 3Dgeoinfo07@tudelft.nl, http://www.3dgeoinfo-07.nl/

17.–19. Dezember: **Trans Asiatic GIS Society Conference on GIS “b-GIS@Asia” in**

**Trivandrum**, Indien. Auskünfte durch: Trans Asiatic GIS Society, e-mail: bgisasia.info@tagsasia.org, <http://www.tagsasia.org/bgisasia/>

## 2008

23.–26. April: **Gemeinsame Jahrestagung 2008 von DGPF und DGfK** in Oldenburg.  
– 28. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation e.V.; DGPF ([www.dgpf.de](http://www.dgpf.de)).  
– 56. **Deutscher Kartographentag**; Deutsche Gesellschaft für Kartographie e.V., DGfK ([www.kartographentag.net](http://www.kartographentag.net)).

14.–19. Juni: **FIG XXXI General Assembly & Working Week** in **Stockholm**. Auskünfte durch: FIG Office, e-mail: [fig@fig.net](mailto:fig@fig.net), [www.fig.net/events/2008/fig\\_2008\\_stockholm.pdf](http://www.fig.net/events/2008/fig_2008_stockholm.pdf)

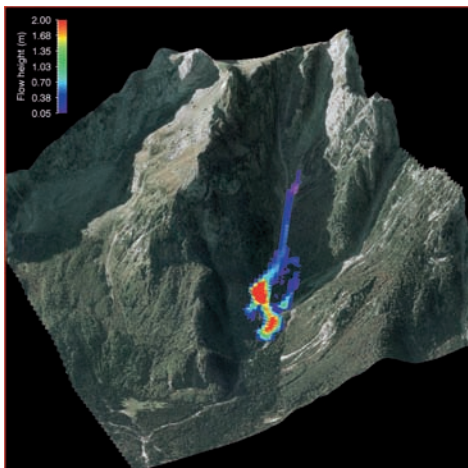
3.–11. Juli: **XXI ISPRS Kongress in Beijing**, China. Auskünfte durch: Prof. Chen Jun (Congress Director), e-mail: [congressdirector@isprs2008-beijing.org](mailto:congressdirector@isprs2008-beijing.org) oder Mr. Wang Qian, Tel.: +86-10-6834 6614, Fax: +86-10-6831 1564, e-mail: [loc@isprs2008-beijing.org](mailto:loc@isprs2008-beijing.org), <http://www.isprs2008-beijing.org/>

13.–20. Juli: 37<sup>th</sup> Scientific Assembly of the **Committee on Space Research & Associated Events – COSPAR 2008**, „50<sup>th</sup> Anniversary Assembly“ in **Montreal**, Kanada. Auskünfte durch: COSPAR Secretariat, Tel.: +33-1-44-76 7510, e-mail: [cospar@cosparhq.cnes.fr](mailto:cospar@cosparhq.cnes.fr)

4.–9. August: **GEOBIA 2008 – Pixels, Objects, Intelligence: “Geographic Object Based Image Analysis for the 21<sup>st</sup> Century”** in **Calgary**, Kanada. Auskünfte durch: Geoffrey J. Hay, Tel.: +1-403-220-4768, e-mail: [gjhay@ucalgary.ca](mailto:gjhay@ucalgary.ca), <http://www.ucalgary.ca/GEOBIA>

## Zum Titelbild

**Dense Flow Avalanche Simulation in RAMMS (Rapid Mass Movements)\***  
Simulation von Fließlawinen mit RAMMS (Schnelle Massenbewegungen)



The cover picture depicts the position of a dense flow avalanche after 100 seconds. The avalanche flow height is stated in different colors, where red denotes flow heights > 2 m and blue denotes small flow heights. A georeferenced aerial picture is used as background for the topography.

Das Bild stellt eine Fließlawine nach 100 Sekunden dar. Die unterschiedlichen Farben veranschaulichen unterschiedliche Fließhöhen.

Dabei bedeutet rot eine Fließhöhe > 2 m und blau eine sehr kleine Fließhöhe. Als Hintergrundbild wird ein georeferenziertes Luftbild verwendet.

Das Programm RAMMS wurde in Kooperation zwischen SLF, Davos und CREASO, Gilching entwickelt.

\* Siehe auch Seite 289–292

### Swiss Federal Institute for Snow and Avalanche Research SLF, Davos

The SLF was founded in 1942 at Weissfluhjoch, Davos. Since 1989 it is part of the Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research WSL and is therefore a part of the ETH domain.



The main tasks of SLF are research, service and education around the subjects snow, natural hazards and the alpine ecology. Additional special fields of study include permafrost, snow climatology, snow sports and the integrated risk management.

The broad variety of research areas requires a highly interdisciplinary research. In addition to its basic research SLF offers a wide range of services as for example consulting assignments, expert evaluations on the causes of avalanches, and the development of warning systems. A primary (and well-known) duty of the institute is to publish the avalanche bulletin – the daily avalanche forecast for the Swiss Alps. The experts of SLF are active participants in education programmes at the ETH, at different universities in Switzerland and the abroad, as well as at many training and extension courses for avalanche professionals.

SLF employs about 100 persons: scientific, technical and administrative staff, PhD- and undergraduate students. They come from all over the world, schooled in many different subjects, such as natural sciences, engineering, economics and social sciences. For more information about the research of SLF and WSL please visit the website at [www.slf.ch](http://www.slf.ch)

Swiss Federal Institute for Snow and Avalanche Research Davos, Switzerland  
[www.slf.ch](http://www.slf.ch) Contact: MARC CHRISTEN  
 e-mail: [christen@slf.ch](mailto:christen@slf.ch)  
<http://www.wsl.ch/hazards/ramms>

### CREASO

CREASO (Creative Software Systems) in cooperation with ITT VIS (ITT-Visual Information Solutions) provides integrated software solutions that help science, industry and government turn complex data into useful information. Over 200,000 customers of CREASO and ITT VIS from more than 80 countries use IDL (Interactive Data Language), ENVI (Environment for Visualizing Images), SARscape and IAS (Image Access Solutions) to analyze data and imagery and deploy imaging applications.



C R E A S O

CREASO products are used in a variety of industries, including remote sensing, engineering, earth sciences, aerospace, defence and intelligence, medical imaging, oil and gas exploration and biotechnology. Combined with a host of support services including training, consulting and technical support, CREASO offers the most complete data visualization, image analysis and image delivery solutions available. For more information visit: [www.creaso.com](http://www.creaso.com).

CREASO GmbH  
 Talhofstraße 32A, D-82205 Gilching  
 Tel.: +49-8105-378-0, Fax: -8105-378-300  
<http://www.CREASO.com>  
 MAREIKE KORTMANN  
 e-mail: [m.kortmann@creaso.com](mailto:m.kortmann@creaso.com)  
 Tel.: 08105-378-206

## Neuerscheinungen

- HEINZ LEIWIG, 2005: Deutschland Stunde Null – Historische Luftaufnahmen 1945. Spezialausgabe: 1. Aufl. 268 S., 245 mm × 210 mm. Motorbuch Verlag, Postfach 10 37 43, 70032 Stuttgart. ISBN: 3-613-02477-2. [www.motorbuch-verlag.de](http://www.motorbuch-verlag.de)
- EuroSDR Official Publication No.49, 2006: Workshops
- ROENSDORF, C.: PAI2-Achieving Geometric Interoperability of Spatial Data. München, Juni 2005.
  - KOLBE, T. & GRÖGER, G.: Next Generation 3D City Models. Bonn, Juni 2005.
  - WOODSFORD, P.: Feature/Object Data Models. München, April 2006.
- EuroSDR Official Publication No.50, 2006:
- KAARTINEN, H. & HYYPPÄ, J.: Evaluation of Building Extraction Report.
  - STEINNOCHER, K. & KRESSLER, F.: Change Detection Report.
  - BELLMANN, A. & HELLWICH, O.: Sensor and Data Fusion Contest: Information for Mapping from Airborne SAR and Optical Imagery (Phase I Report).
  - MAYER, H., BALTSAVIAS, E. & BACHER, U.: Automated Extraction, Refinement and Update of Road Databases from Imagery and other Data Report.
- CD-ROM Publikationen. ISSN 0257-0505, ISBN 90-5170-466-5. Dr. ANDREAS BUSCH EuroSDR Publikationsbüro Frankfurt am Main. e-mail: [andreas.busch@bkg.bund.de](mailto:andreas.busch@bkg.bund.de), [www.eurosd.net](http://www.eurosd.net)
- EuroSDR Official Publication No.51, 2006:
- HÖHLE, J. & POTUCKOVA, M.: The EuroSDR Test „Checking and improving of Digital Terrain Models“.
  - SKARLATOS, D. & GEORGOPOULUS, A.: The method of two overlapping orthoimages for checking the produced DTM.
  - POTUCKOVA, M.: Checking and improvements of DTMs in the EuroSDR test.
  - PASZOTTA, Z. & SZUMILO, M.: Application of a statistical test of hypothesis to check DTM accuracy over the Internet.
- FIALA, R. & SIMA, J.: The Czech method of DTM checking.
  - JANCOSO, T. & ZAVOTI, J.: Quality control of Digital Terrain Models using different autocorrelation techniques.
  - KIM, J.S. & SHAN, J.: A statistical approach to DTM quality evaluation.
  - KAREL, W. & KRAUS, K.: Quality parameters of Digital Terrain Models.
  - SKALOUD, J.: Reliability of Direct Georeferencing, Phase 1: „An overview of the current approaches and possibilities“.
  - LEGAT, K., SKALOUD, J. & SCHMIDT, R.: Reliability of Direct Georeferencing, Phase 2: „A case study on practical problems and solutions“.
- 184 S., ISSN 0257-0505, ISBN 97-8905-179-491-5. Erhältlich bei EuroSDR (<http://www.eurosd.net>). € 42,-
- WOLFGANG KAINZ & ALEXANDER PUCHER, (Edit.), 2006: Symposium of ISPRS Commission II – Theory and Concepts of Spatio-temporal Data Handling and Information. Vol. XXXVI, Part 2. 168 S., ISSN 1682-1750. Available from GITC bv, P.O. Box 112, NL-8530 AC Lemmer. Fax: +31-514-56185, e-mail: [mail\\_box@gitc.nl](mailto:mail_box@gitc.nl), [www.gitc.nl](http://www.gitc.nl)
- GÜNTER CHESI & THOMAS WEINOLD, (Hrsg.), 2007: 14. Internationale Geodätische Woche Obergurgl. XI, 232 S., Kartoniert, ISBN 978-3-87907-446-4. Herbert Wichmann Verlag, Hüthig GmbH & Co. KG, Heidelberg. [www.huethig.de](http://www.huethig.de). € 40,-
- JÖRG ALBERTZ, 2007: Einführung in die Fernerkundung. Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern. 3., aktualisierte und erweiterte Auflage. 254 S., gebunden. Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt. [www.wbg-darmstadt.de](http://www.wbg-darmstadt.de). ISBN 978-3-534-19878-8. € 39,90.



# Universität Karlsruhe (TH)

Forschungsuniversität • gegründet 1825

An der Fakultät für Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften der Universität Karlsruhe (TH) ist am Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung zum 01. April 2008 die

## Professur für Fernerkundung und Bildverarbeitung (W3)

zu besetzen.

Die gesuchte Persönlichkeit vertritt Bildverarbeitung und Fernerkundung in Forschung und Lehre. Der/die Bewerber/in soll sich durch methodische und experimentelle Forschung auf dem Gebiet der digitalen Bildverarbeitung mit Anwendungen in Photogrammetrie und Fernerkundung wissenschaftlich qualifiziert haben. Es wird erwartet, dass der/die Bewerber/in die Methoden der digitalen Bildverarbeitung und Fernerkundung für dimensionelle Messung, Navigation und Objektdokumentation weiterentwickelt. Erfahrungen in der Definition und Durchführung von Forschungsprojekten sowie in der Einwerbung von Drittmittel werden vorausgesetzt.

Die Lehre in den Fächern "Fernerkundung" und "Digitale Bildverarbeitung" wendet sich an Studierende der "Geodäsie und Geoinformatik" (Bachelor/Master ab WS 2008/2009) mit Lehrexport für Geoökologie, Meteorologie, Wirtschaftswissenschaften sowie die auslandsbezogenen Studiengänge "Regionalwissenschaft" und "Resources Engineering". Verbunden mit der Professur ist die Leitung des Institutes für Photogrammetrie und Fernerkundung. Von der Stelleninhaber/in/Stelleninhaber wird die Mitwirkung bei der Umgestaltung der Institutsstrukturen des Studienganges Geodäsie und Geoinformatik erwartet sowie die Fortsetzung der engen Zusammenarbeit mit den anderen geowissenschaftlichen Instituten der Universität und der Kooperation mit internationalen Institutionen.

Die Universität ist bestrebt, den Anteil von Professorinnen zu erhöhen und begrüßt deshalb die Bewerbung entsprechend qualifizierter Frauen. Schwerbehinderte Bewerber/innen werden bei entsprechender Eignung bevorzugt.

Im Falle einer erstmaligen Berufung in ein Professorenamt wird das Dienstverhältnis entsprechend § 50 LHG zunächst grundsätzlich befristet. Ausnahmen von der Befristung sind möglich.

Bewerbungen mit den üblichen Unterlagen (Lebenslauf, Zeugnisse, Schriftenverzeichnis, Sonderdrucke der fünf wichtigsten Veröffentlichungen) sind bis zum 15. September 2007 an den Dekan der Fakultät für Bauingenieur-, Geo- und Umweltwissenschaften der Universität Karlsruhe (TH), Postfach 69 80, 76128 Karlsruhe oder [dekanat@bgu.uka.de](mailto:dekanat@bgu.uka.de) zu richten.



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

## Professur für Photogrammetrie und Optische Fernerkundung

Die Professur entwickelt in der Forschung die Methoden der photogrammetrischen und optischen Fernerkundungs-Bildanalyse mit einem Schwerpunkt auf quantitativ-geometrischen Aspekten für neue thematische Anwendungen weiter. Im Vordergrund stehen dabei die hochpräzise geometrische und stochastische Sensormodellierung, das Design von Mess-Systemen und Komponenten, inkl. Fehlermodellierung, sowie halbautomatische und automatische Objektextraktionsverfahren und Realtime-Prozessierung. Die Professur ist verantwortlich für die fachbezogenen Lehrveranstaltungen auf BSc-, MSc- und PhD-Stufe.

Vorausgesetzt wird eine universitäre Ausbildung mit Doktorat in Geomatik oder in einer verwandten Disziplin wie Informations- oder Elektroingenieurwissenschaften sowie ein Post-Doktorat und/oder Erfahrung in der Industrie oder in Institutionen im Gebiet der Photogrammetrie. Kandidatinnen und Kandidaten verfügen über einen hervorragenden wissenschaftlichen Leistungsausweis und ein innovatives, interdisziplinäres Forschungsprogramm; ein Schwerpunkt bilden dabei quantitative und geometrische Fragestellungen. Ein nationales und internationales Netzwerk ist entscheidend für eine erfolgreiche Zusammenarbeit mit Industriepartnern und anderen Organisationen.

Bewerbungen mit Lebenslauf, Publikationsliste, einem Verzeichnis der bearbeiteten Projekte sowie einem Konzept für die zukünftige Lehre und Forschung sind **bis zum 30. November 2007 einzureichen beim Präsidenten der ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz**. Im Bestreben, den Frauenanteil in Lehre und Forschung zu erhöhen, fordert die ETH Zürich Wissenschaftlerinnen ausdrücklich zur Bewerbung auf.