

PRG

Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation

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

Jahrgang 2004, Heft 6

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 2004



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

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



International Society
for Photogrammetry
and Remote Sensing

DAGM

Deutsche Arbeits-
gemeinschaft für
Mustererkennung e.V.



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

Herausgeber:

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

Published by:

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

© Gedruckt auf alterungsbeständigem Papier nach ISO 9706-1994

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

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

Verantwortlich für den Inhalt der Beiträge sind die Autoren.

ISSN 1432-8364

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

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

Erscheinungsweise: 7 Hefte pro Jahrgang.

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

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

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

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

PFG – Jahrgang 2004, Heft 6

Inhaltsverzeichnis

Originalbeiträge zum Thema Digitale flugzeuggetragene Fernerkundungs-Sensoren

EHLERS, M. & SCHIEWE, J.: Digitale flugzeuggetragene Fernerkundungs-Sensoren: Neues Potenzial und neue Auswertemethoden. Editorial	461
SCHIEWE, J. & EHLERS, M.: Semantisches Potenzial digitaler flugzeuggetragener Fernerkundungs-Sensoren	463
GÄHLER, M., JANOWSKY, R. & SCHIEWE, J.: Automatisierte Ableitung von Biotop- typen aus räumlich höchst aufgelösten, multispektralen Bild- und Laser- scanning-Daten	475
GREIWE, A., BOCHOW, M. & EHLERS, M.: Segmentbasierte Fusion geometrisch hoch aufgelöster und hyperspektraler Daten zur Verbesserung der Klassifikations- güte am Beispiel einer urbanen Szene	485
EHLERS, M. & KLONUS, S.: Erhalt der spektralen Charakteristika bei der Bildfusion durch FFT basierte Filterung	495

Originalbeiträge

LIEBESKIND, P., RIEDEL, T. & SCHMULLIUS, C.C.: Pauli- und Cloude-Dekomposi- tionstheoreme zur Extraktion des Streuverhaltens landwirtschaftlicher Nutz- flächen aus vollpolarimetrischen E-SAR Daten	507
LINDE, L. & KIRSTEIN, W.: Vergleich unterschiedlicher Klassifikationsansätze am Beispiel von hoch auflösenden Satellitenbilddaten im Raum Leipzig	519
WIEDEMANN, A.: Photogrammetrische Rekonstruktion der Kommandantur in Berlin	527

Aus Wissenschaft und Technik

SCHWEBEL, R.: Parameter-gesteuerte Qualitätssicherung von Orthophotos nach DIN 18740-3	531
---	-----

Berichte und Mitteilungen

Berichte:

20. Kongress der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung vom 12. bis 23. Juli 2004 in Istanbul (Türkei) ..	536
Bericht über die Ausstellungen	540
Kommission I: Sensoren, Plattformen und Bilder	542
Kommission II: Systeme zur Verarbeitung, Analyse und Darstellung von Daten	545
Kommission V: Nahbereichsverfahren und maschinelles Sehen	546
Kommission VI: Ausbildung und Kommunikation	547
Kommission VII: Ressourcen- und Umweltüberwachung	548
Natura 2000: Beratung vom 7.5.2004 in Dresden	550

Hochschulnachrichten:		
Ruhr-Universität Bochum:	C. JÜRGENS	551
Technische Universität München:	S. HINZ	551
Universität Zürich:	O. STEBLER	552
Technische Universität Wien:	P. DORNINGER	552
	S. KNABE	553
	J. ZHANG	554
Persönliches:	Prof. FRITHJOF VOSS †	556
	Dr. T.J. BLACHUT †	558
Buchbesprechungen:	WOLFGANG KRESSE & KIAN FADAIE	559
	KARL KRAUS	560
	JÜRGEN FRIEDRICH	562
Zum Titelbild		563

Digitale flugzeuggetragene Fernerkundungs-Sensoren: Neues Potenzial und neue Auswertemethoden

MANFRED EHLERS & JOCHEN SCHIEWE, Osnabrück

Keywords: digital airborne sensors, multisensor, application potential, information content, scene interpretation

Das vorliegende Heft der PFG zum Schwerpunktthema „*Digitale flugzeuggetragene Fernerkundungssensoren: Neues Potenzial und neue Auswertemethoden*“ gibt einen Einblick in die zentralen Aktivitäten des Forschungszentrums Geoinformatik und Fernerkundung (FZG) in Vechta/Osnabrück.

Hierbei stehen zum einen die Untersuchungen von diversen Einsatzmöglichkeiten der neuen räumlich beziehungsweise spektral hoch auflösenden Systeme im Mittelpunkt. In diesem Kontext werden auch nach einem Überblicksartikel von SCHIEWE & EHLERS im Beitrag von GÄHLER et al. die Ergebnisse der automatisierten Ableitung von Biotoptypen aus Bild- und Laserscanningdaten durch Anwendung einer kontextbasierten Bildverarbeitung sowie einer GIS-Integration präsentiert. Das Titelbild dieser PFG-Ausgabe, das einen multi-sensoralen und klassifizierten Datensatz des FALCON-Systems (Fa. TopoSys) zeigt, ist ein typisches Beispiel für die betrachteten Daten.

Ferner konzentrieren sich die Aktivitäten der FZG-Mitglieder auch auf die die Entwicklung von Verfahren zur Auswertung dieser neuen Datenquellen. Exemplarisch werden hierzu eine segmentbasierte Fusion von geometrisch hoch aufgelösten mit hyperspektralen Bilddaten (GREIWE et al.) sowie eine Bildfusion zum verbesserten Erhalt der spektralen Charakteristika (EHLERS & KLONUS) vorgestellt.

Das Forschungszentrum Geoinformatik und Fernerkundung (FZG) existiert seit nunmehr vier Jahren und bündelte die Geo-

informatik-Forschung an der Hochschule Vechta. Sprecher des FZG ist seit der Gründung Prof. MANFRED EHLERS. Bei der Gründung bildete es einen relativ lockeren Forschungsverband mit vier Professoren und sechs Mitarbeitern, die auf drei Institute und fünf Gebäude verteilt waren. Vier Jahre später ist es ein homogenes, Drittmittel orientiertes Zentrum mit nur noch zwei Professoren, dafür aber mit ca. 15 Mitarbeitern, die meisten davon durch Forschungsprojekte finanziert. In Kürze wird es sich mit einer eigenen wissenschaftlichen Reihe, den `gi-reports@fzg`, der Öffentlichkeit vorstellen.

Wissenschaftler des FZG waren in den letzten vier Jahren für Forschungsprojekte verantwortlich, deren Gesamthöhe 3 Mio. Euro übersteigt. Das FZG koordiniert derzeit das Projekt „Weiterentwicklung von Geodiensten“ im BMBF/DFG Sonderprogramm „Geotechnologien“ und ist das federführende Institut für das von der Bundesländer-Kommission geförderte E-Learning-Projekt „Fernstudienmaterialien Geoinformatik“ (FerGI). Darüber hinaus ist am FZG die Geschäftsstelle des Kompetenzzentrums für Geoinformatik (GiN) angesiedelt. Das GiN ist ein vom Wissenschaftsministerium Niedersachsens gefördertes Konsortium der auf dem Gebiet der Geoinformatik führenden Hochschulen Norddeutschlands. Einen Überblick über alle Aktivitäten bieten die Homepages des FZG (www.fzg.uni-vechta.de) und des GiN (www.gin-online.de).

Die Geoinformatik in Vechta besitzt das Spezifikum, dass sie sich nicht aus einer spe-

ziellen Fachrichtung (Informatik, Geodäsie oder Geographie) heraus definiert, sondern eine breite interdisziplinäre Grundlage und Ausrichtung aufweist. Mitarbeiter des FZG kommen aus den Disziplinen Geodäsie, Geographie, Informatik, Mathematik, Biologie und Umweltwissenschaften. Durch eine starke Projekt-Zusammenarbeit wurde am FZG eine interdisziplinäre Umgebung geschaffen, die sich der Forschung, Lehre und Weiterbildung auf dem Gebiet der Geoinformatik widmet. Neben den bereits erwähnten Aktivitäten im Bereich Fernerkundung besitzt das FZG die folgenden weiteren Schwerpunkte:

- Methodische Untersuchungen zur Integration von GIS und Fernerkundung (Taxonomie von GIS- und Bildverarbeitungs-Operatoren, Analyse hybrider Operatoren, prototypische Entwicklung integrierter Systeme)
- Geoinformatik-Anwendungen für themenspezifische Untersuchungen (Biotop-typen-Kartierung und -Monitoring, urbane Informationssysteme, GIS als Planungswerkzeug, Internet-GIS, mobile GIS, GIS zur epidemiologischen Risikobewertung, Weiterentwicklungen auf der Grundlage kommerzieller Systeme wie Fachschalenentwicklung oder Integration von Spezialprozeduren)
- Entwicklung neuartiger Geoinformatikwerkzeuge (3D-, 4D-GIS zum Datenmanagement dreidimensionaler raumbezogener Daten mit Zeitintegration, Datenstrukturen und Prozeduren für mobile GIS, *Augmented Reality*, Interoperabilität von Geodiensten, Komponenten basierte Internet-GIS, Gestaltung neuer Nutzerschnittstellen, *Location Based Services*)

Parallel zu den Forschungsaktivitäten ist ein integriertes Programm für die Aus- und Weiterbildung in Geoinformatik entwickelt worden. Es reicht von wissenschaftlichen Diplomstudiengängen (Schwerpunkt Geoinformatik im grundständigen Studiengang Umweltwissenschaften; Schwerpunkt GIS im Aufbau- und Zusatzstudium Umweltmo-

onitoring) über die vom Arbeitsamt geförderte Internet gestützte Weiterbildung (6-Monats-Kurs UNIGIS *Professional Express*) bis hin zu Kurzkursen (GIS, Fernerkundung, Bildverarbeitung, GPS).

Das FZG ist dankbar, dass es in diesem Heft die Gelegenheit hat, seine neue organisatorische Entwicklungsrichtung vorzustellen. Das Land Niedersachsen hat in seinem Hochschuloptimierungskonzept (HOK) beschlossen, das gesamte FZG zum Wintersemester 2004/2005 an die Universität Osnabrück zu verlagern. Da die Hochschule Vechta sich in ihrem Strukturkonzept stärker auf sozial- und kulturwissenschaftliche Schwerpunkte konzentrieren will, besaß die Geoinformatik damit in Vechta keine passende Umgebung für ihre Aktivitäten in Forschung und Lehre. Die Universität Osnabrück besitzt mit ihren Angeboten im Informatik, Geographie und Angewandten Systemwissenschaften den passenden Nährboden zum Aufbau eines wissenschaftlich und technisch fundierten Programms in Geoinformatik. Zum Wintersemester 2005/2006 soll ein Bachelor- und Masterprogramm in Geoinformatik an der Universität Osnabrück beginnen, wobei zumindest das Masterprogramm als internationaler Studiengang geplant ist (Geoinformatics). Zur Zeit ist das FZG noch am Standort Vechta untergebracht, im Laufe des Jahres 2005 wird es dann endgültig an die Universität Osnabrück umziehen.

Abschließend gilt unser besonderer Dank der Schriftleitung für die Möglichkeit zur Gestaltung dieses Schwerpunktheftes sowie für die angenehme Zusammenarbeit.

Anschrift der Autoren:

Prof. Dr.-Ing. MANFRED EHLERS
 PD Dr.-Ing. JOCHEN SCHIEWE
 Forschungszentrum für Geoinformatik und Fernerkundung an der Universität Osnabrück
 Eichendorffweg 30, D-49377 Vechta
 Tel.: 0444-15-423/-428
 e-mail: mehlers@fzg.uni-vechta.de
 jschiewe@fzg.uni-vechta.de

Semantisches Potenzial digitaler flugzeuggetragener Fernerkundungs-Sensoren

JOCHEN SCHIEWE & MANFRED EHLERS, Osnabrück

Keywords: digital airborne sensors, multisensor, application potential, information content, scene interpretation

Zusammenfassung: Dieser Überblicksbeitrag diskutiert das Potenzial moderner digitaler, flugzeuggestützter Fernerkundungssensoren für thematische Auswertungen. Nach einer Zusammenstellung der technischen Parameter der wichtigsten bildgebenden sowie multisensoralen Systeme werden die Anwendungsmöglichkeiten im Bereich topographischer Kartierungen skizziert, wozu eine Reihe von nutzerrelevanten Faktoren (z. B. geometrische und semantische Genauigkeit, Informationsgehalt, operationelle Eigenschaften) betrachtet wird. Zur Illustration werden Datensätze für ein und dasselbe Testgebiet von drei unterschiedlichen Systemen (DMC, ADS 40 und FALCON) verwendet. Abschließend werden Forderungen hinsichtlich künftiger Aufnahme- und Auswerteszenarios abgeleitet.

Summary: *Semantic potential of digital airborne remote sensing systems.* This survey discusses the potential of modern digital airborne remote sensing systems for thematic applications. Firstly a compilation of technical parameters of the most important imaging and multisensor systems is given. Based on this the possible applications in the area of topographical mapping are sketched, wherefore a couple of user relevant factors like geometrical and semantical accuracy, information content or operational characteristics are considered. For illustration purposes data sets of three systems (DMC, ADS 40 and FALCON) are used which are available for one and the same test area. Finally demands for future data acquisition and processing scenarios are derived.

1 Einführung

Mit großem Interesse und einer Reihe offener Fragen verfolgen derzeit die Nutzer hoch auflösender Fernerkundungsdaten den langsamen, aber bestimmten Übergang von konventionellen fotografischen Kameras hin zu digitalen Aufnahmesystemen. Mit der Verfügbarkeit von multispektralen Bilddaten mit einer hohen geometrischen Genauigkeit und einer verbesserten radiometrischen Auflösung gehen nun auch die Erwartungen einher, einen direkten und effizienten digitalen Datenfluss zu erhalten sowie die Palette möglicher Anwendungen zu erweitern.

Zusätzlich zu den spektralen Informationen erfassen die großformatigen, digitalen Kamerasysteme (wie DMC, ADS 40,

HRSC-AX oder Ultracam-D) auch stereoskopische Daten, aus denen durch automatische Matching-Algorithmen Digitale Oberflächen-Modelle abgeleitet werden können. Eine Alternative zur Akquirierung von Höhendaten stellen flugzeuggestützte Laserscanner dar, die in den letzten zehn Jahren aufgrund der gestiegenen Leistungsfähigkeit der GPS- und Inertialmesssysteme zur direkten Orientierung operationelle Reife erhalten haben. Mit der optionalen simultanen Erfassung von Laserscanning- sowie multispektralen Bilddaten (wie beim System FALCON oder den Systemkombinationen ALTM/DSS oder ALS 50/ADS 40) werden zum einen homogene Aufnahmebedingungen erzielt, zum anderen wird der Umfang ableitbarer Merkmale potenziell erhöht.

Für zukünftige Anwendungen stellt sich nun die grundsätzliche Frage nach der Auswahl geeigneter Sensoren und entsprechender Auswerteverfahren. Das erste Ziel dieses Überblicksbeitrages besteht daher in der Zusammenstellung der technischen Parameter der wichtigsten digitalen Systeme im Vergleich zu photographischen Kameras (Abschnitt 2). Hierauf aufbauend sollen die Anwendungsmöglichkeiten im Bereich topographischer Kartierungen diskutiert werden, wozu eine Reihe von nutzerrelevanten

Faktoren (z. B. geometrische und semantische Genauigkeit, Informationsgehalt, operationelle Eigenschaften) betrachtet wird (Abschnitt 3). Zur Illustration werden Datensätze von drei unterschiedlichen Systemen (DMC, ADS 40 und FALCON) verwendet, die für ein und dasselbe Testgebiet vorliegen. Aus dieser Betrachtung heraus ergeben sich einige Forderungen hinsichtlich künftiger Aufnahme- und Auswerteszenarios, die in Abschnitt 4 dargelegt werden.

Tab. 1: Ausgewählte digitale flugzeuggestützte Aufnahmesysteme (aktualisierte Fassung basierend auf SCHIEWE & EHLERS, 2004; Quellen: Webseiten der Firmen, geschätzte Kosten basierend auf www.emergedss.com).

Sensor	HRSC-AX	DSS		ADS 40	UltraCam-D	DMC
Firma	DLR	Applanix (Emerge)		Leica Geosystems	Vexcel Corp.	Z/I Imaging
URL	www.dlr.de/HRSC-A	www.emergedss.com		www.gis.leica-geosystems.com/	www.vexcel.com	www.ziimaging.com
Sensortyp	Zeilen-CCD	Flächen-CCD		Zeilen-CCD	Flächen-CCD	Flächen-CCD
Einführung	2000	–		2000	2003	2002
Brennweite	151 mm	55 mm (Farbe & CIR) 35 mm (nur Farbe)		62.7 mm	100 mm (28 mm multi-spektral)	120 mm (25 mm multi-spektral)
Gesichtsfeld	29°	37° × 55.4°		64°	55° × 37°	74° × 44°
Anzahl CCD-Zeilen/-Kameras	9	1		7	9	8
CCDs quer Flugrichtung	12 172	4077		2 × 12 000 (pan) 12 000 (multi-spektral)	11 500 (pan) 4008 (multi-spektral)	13 824 (pan) 3 000 (multi-spektral)
CCDs in Flugrichtung	–	4092		–	7 500 (pan) 2 672 (ms)	7 680 (pan) 2 000 (ms)
Sensorgroße	6.5 µm	9 µm		6.5 µm	9 µm	12 µm
Radiometrische Auflösung	12 bit	12 bit		12 bit	> 12 bit	12 bit
Spektrale Auflösung (nm)	520–760 (pan) 450–510 (blau) 530–576 (grün) 642–682 (rot) 770–814 (NIR)	RGB Modus 400–500 (blau) 500–600 (grün) 600–680 (rot)	CIR Modus 510–600 (grün) 600–720 (nor/NIR) 720–920 (NIR)	465–680 (pan) 428–492 (blau) 533–587 (grün) 608–662 (rot) 703–757 (NIR) oder 833–887 (NIR opt.)	390–690 (pan) 390–470 (blau) 420–580 (grün) 620–690 (rot) 690–900 (NIR)	400–580 (pan) 400–580 (blau) 500–650 (grün) 590–675 (rot) 675–850 (NIR)
Auslesefrequenz	1640 Zeilen/s	0.25 Bilder/s		800 Zeilen/s	0.75 Bilder/s	0.5 Bilder/s
Stabilisierung	Zeiss T-AS Plattform	Eigene Plattformen		LH Plattformen	Zeiss T-AS Plattform	Zeiss T-AS Plattform
Datenaufzeichnung	Hochgeschw.-Rekorder	80 GB austauschbare Harddisk		MM40 Massenspeicher	RAID Disk System	RAID Disk System (840 GB)
Georeferenzierung	Applanix POS/DG	Applanix POS IMU		Applanix POS IMU	POS Z/I 510	optional (nicht näher spezifiziert)
Geschätzte Kosten (inkl. Positionierung)	–	425.000 \$		1.200.000 \$	700.000 \$	1.600.000 \$

2 Technische Parameter

2.1 Ausgewählte digitale Systeme

Tab. 1 gibt einen Überblick über ausgewählte, digitale, flugzeuggestützte und bildgebende Systeme. Die meisten hiervon gehören in die Kategorie der großformatigen Geräte, lediglich das Digital Sensor System (DSS) weist ein mittleres Format auf. Aufgrund der gestiegenen Leistungsfähigkeit von

GPS- und Inertialmess-Systemen zur direkten Orientierung haben Laserscanning-Systeme in den letzten zehn Jahren operationelle Reife erhalten. Eine detaillierte Produktübersicht gibt LEMMENS (2004). Mit der optionalen simultanen Erfassung von Laserscanning- sowie mittelformatigen, multispektralen Bild-Daten entstehen *Multisensorsysteme*, von denen Tab. 2 ausgewählte Konfigurationen darstellt, die insbesondere in Europa Anwendung finden.

Tab. 2: Ausgewählte Laserscanning-Systeme, die eine optionale Bilddatenerfassung ermöglichen (aktualisierte Fassung basierend auf SCHIEWE & EHLERS 2004; Quellen: Webseiten der Firmen).

System	FALCON	ALTM 3033, 3070		ALS 50
Firma	TopoSys	Optech		Leica Geosystems
URL	www.toposys.de	http://www.optech.on.ca/		http://www.gis.leica-geosystems.com/
Aufnahmeprinzip	Glasfaserzeile	rotierender Spiegel		rotierender Spiegel
Mehrfachreflexionen	bis zu 2 Echos	bis zu 4 Echos		bis zu 4 Echos
Bilddatenerfassung (spektrale Auflösung in nm)	Linienscanner (Pixelgröße 0.5 m)	DSS		ADS 40
	450–490 (blau) 500–580 (grün) 580–660 (rot) 770–890 (NIR)	RGB Modus 400–500 (blau) 500–600 (grün) 600–680 (rot)	CIR Modus 510–600 (grün) 600–720 (nor/NIR) 720–920 (NIR)	465–680 (pan) 428–492 (blau) 533–587 (grün) 608–662 (rot) 703–757 (NIR) oder 833–887 (NIR opt.)
Erfassung Intensität	ja	ja		ja
Pulsrate	83 kHz	bis zu 70 kHz		bis zu 83 kHz
Scanfrequenz	653 Hz	70 Hz		$412.33 \times FOV^{-0.6548}$ (max. 51°)
Maximale Reichweite	1600 m	3000 m		4000 m
Scanwinkel (FOV)	± 7°	± 0 ... 25°		± 10 ... 37.5°
Streifenbreite (h = 1000 m)	245 m	930 m		1530 m
Messauflösung	0.02 m	0.01 m		0.01 m
Vertikale Genauigkeit	± 0.15 m	± 0.15 m (h = 1200 m)		± 0.15 m ... ± 0.50 m
Horizontale Genauigkeit	–	± 0.50 m (h = 1000 m) (< ± 1/2000 × h)		± 0.15 m ... ± 0.75 m

2.2 Datensätze für diesen Beitrag

Zur Illustration der folgenden Betrachtungen werden Datensätze von drei unterschiedlichen Systemen (DMC, ADS 40 und FALCON) verwendet, die im Auftrag der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) für ein und dasselbe Testgebiet – die Stadt Coswig (Siedlung Ratskiefen) in Sachsen-Anhalt – akquiriert worden sind. Tab. 3 fasst die wesentlichen Parameter der entsprechenden Bild- und Höhendaten-Aufnahmen zusammen.

2.3 Vergleich zu photographischen Systemen

Der bedeutendste technische Unterschied zwischen den digitalen Aufnahmesystemen und den filmbasierten Kameras betrifft die *spektrale Auflösung* bzw. die *spektrale Bandbreite*: Digitale Systeme besitzen die Fähigkeit zur Aufzeichnung multispektraler Daten, d. h. zur Messung absoluter Strahlungswerte in getrennten, schmalen Bändern im sichtbaren und nahen Infrarotbereich des elektromagnetischen Spektrums. Anzahl und Breite der Bänder orientieren sich eng an denen der hoch auflösenden Satelliten-

systeme (z. B. Ikonos) und stellen gegenüber den klassischen dreikanaligen Farb- oder Falschfarbaufnahmen eine wertvolle Steigerung des Informationsumfanges dar. Aus technischer Sicht wird die spektrale Trennung durch verschiedene Kameras oder durch Mosaikfilter erzeugt, die über den aufzeichnenden CCD-Elementen platziert sind. Interferenzfilter (z. B. bei der ADS 40) erzeugen streng voneinander getrennte Bänder, während Absorptionsfilter (z. B. bei der DMC) zu überlappenden spektralen Bereichen führen. Eine interessante Alternative für die Zukunft stellen die dreilagigen Complementary Metal-Oxide Semiconductors (CMOS) dar, die das konventionelle Farbschichtenprinzip simulieren (BLANC 2001).

Bezüglich der Radiometrie ist nicht zuletzt aufgrund der unterschiedlichen Kennwerte – Sensitivität und Gradation bei Filmen bzw. *radiometrische Auflösung* bei digitalen Systemen – ein strenger quantitativer Vergleich nicht möglich. Die Anzahl notwendiger Graustufen in digitalen Bildern hängt vom Bereich der tatsächlichen Empfangssignale und dem Rauschverhalten ab, was beides von Szene zu Szene variiert (BALTSAVIAS 1999). Grundsätzlich bewirkt

Tab. 3: Spezifikation der verwendeten Testdatensätze.

System	ADS 40	DMC	FALCON
Hersteller	Leica Geosystems	Z/I Imaging	TopoSys
Aufnahmedatum	August 2003	August 2003	April / Mai 2003
Flughöhe	2.500 m	1.200 m	850 m
Streifenbreite	3.000 m	1.380 m	210 m
Bodenpixelgröße Bild	0.25 m	0.10 m	0.50 m
Lagegenauigkeit Bild	± 0.25 m	± 0.09 m	± 0.50 m
Bodenpixelgröße DOM	1.0 m	1 m	0.50 m
Lage-/Höhen-genauigkeit DOM	± 0.25 m / ± 0.30 m	± 0.09 m / ± 0.07 m	± 0.50 m / ± 0.15 m
Bemerkungen		Genauigkeiten basieren auf 16 Passpunkten nach AT	Höhendaten = last echo

die elektro-optische Abtastung aufgrund der größeren Detektoranzahl und der längeren „Belichtungszeit“ mit linien- oder flächenhaften CCD-Sensoren ein deutlich geringeres Rauschen als mit optisch-mechanischen Abtastern. Mit konkreten radiometrischen Leistungsdaten erhält HOFMANN (1983) typische Werte des maximalen Signal-Rausch-Verhältnisses bzw. des Dynamikbereiches von 500 bis 2000, was zu Quantisierungs-Intervallen, die mindestens das Doppelte des Rauschanteils betragen sollten, von bis zu 10 bit führt. Dieser Wert, der mit aktuellen Aufnahmesystemen noch übertroffen werden kann, ist den geschätzten, maximalen 8 bit für filmbasierte Aufnahmen, der sich durch einen erhöhten Rauschanteil aufgrund der Filmgranularität ergibt, überlegen (LEBERL & GRUBER 2003).

Auch bezüglich der Angaben zur *geometrischen Auflösung*, d. h. zwischen dem optischen Auflösungsvermögen und der Detektorgröße, besteht kein strenger Zusammenhang. Legt man das idealisierte Abtasttheorem zugrunde, ergibt sich in der Praxis (vgl. KRAUS 2004) z. B. für eine Filmauflösung von 50 Linienpaaren/mm eine Bodenpixelgröße von 9 cm (unter der Annahme eines typischen Bildmaßstabes von 1:12.500). Für denselben Maßstab erhält man mit digitalen

Systemen vergleichbare Bodenpixelgrößen, z. B. bei Verwendung der DMC von 15 cm (Brennweite $c = 120$ mm, Flughöhe $h_G = 1500$ m) oder der ADS 40 von 8 cm ($c = 62.5$ mm, $h_G = 780$ m). Aufgrund des breiteren Öffnungswinkels bzw. der geringeren Flughöhe werden zwar die atmosphärischen Einflüsse geringer, dafür aber die Schatten- und Verdeckungseffekte (zumindest quer zur Flugrichtung) größer. Die Verwendung schmalwinkliger Systeme (z. B. DSS oder FALCON) bei vergleichbaren Flughöhen führt zu größeren Bodenpixelgrößen um 0.5 m. Bei einigen Systemen (siehe Tab. 1) ist zu beachten, dass die Brennweite und damit die tatsächliche Auflösung der multispektralen Kanäle um bis zu Faktor 5 geringer ist als die des panchromatischen Bandes. Hier erfolgt dann eine künstliche Verbesserung der Farbkanäle über eine Fusion der beiden Quellen („pan sharpening“), was Auswirkungen auf nachfolgende Klassifizierungen haben kann, die allerdings noch nicht im Detail untersucht worden sind.

Im Gegensatz zu Filmkameras weisen die digitalen Systeme in der Regel noch eine geringere *Streifenbreite* auf. Mit Konfigurationen für die DMC ($c = 120$ mm, $h_G = 1.500$ m) bzw. ADS 40 ($c = 62.5$ mm, $h_G = 1.440$ m), die jeweils eine Bodenpixelgröße von 0.15 m ergeben, erhält man eine seitliche



Abb. 1: Vergleich der Aufnahmegeometrien (mit überlagerten ALK-Daten, Ausschnitt ca. $40\text{ m} \times 40\text{ m}$): links (DMC): Zentralperspektive (starke radiale Verschiebungen), rechts (ADS 40): kombinierte Parallel- und Zentralperspektive des Linienscanners (leichte Verschiebungen quer zur Flugrichtung).

Abdeckung von 2.070 m bzw. 1.800 m. Mittelformatige Systeme wie FALCON (245 m bei einer Flughöhe $h_G = 1000$ m) sind in einer noch tieferen Kategorie anzusiedeln.

Die Erfassung *stereoskopischer Daten* kann bei digitalen Systemen nach zwei Prinzipien erfolgen: Eine Möglichkeit besteht im Einsatz *flächenhafter* CCD-Elemente (z. B. bei der DMC; SPILLER 2000), was dem Prinzip der konventionellen Filmkameras ähnelt und stereoskopische Daten durch überlappende Szenen erzeugt. Die andere Variante besteht in der Verwendung von mehreren, in Flugrichtung unterschiedlich geneigten *Linien-CCDs* (z. B. bei der ADS 40; FRICKER et al. 2000). Abb. 1 veranschaulicht die resultierenden Verzerrungen der Aufnahmegeometrien: Die zentralperspektivische Aufnahme erweitert zwar die Interpretierbarkeit durch zusätzliche Seitenansichten, erschwert aber die (automatisierte) Delineation des Grundrisses durch Schatten- und Verdeckungseffekte, die aufgrund des relativ breiten Öffnungswinkels verstärkt werden. Detaillierte Untersuchungen zu den Auswirkungen dieser Aufnahmeprinzipien auf die Interpretierbarkeit sowie die Ableitung von Höhendaten stehen noch aus.

3 Anwendungspotenzial

3.1 Parameter der Nutzerakzeptanz

Aus Sicht der Nutzer ist eine Reihe von Kriterien für die Eignung von Fernerkundungsdaten für eine spezifische Anwendung verantwortlich. Diese Parameter lassen sich grob in zwei Kategorien einteilen – zum einen die technischen Faktoren (d. h. geometrische und semantische Genauigkeiten sowie Informationsgehalt), zum anderen die operationellen Aspekte (d. h. Gebietsabdeckung, Aktualität, Nachhaltigkeit und Kosten). In den folgenden Abschnitten werden für Daten digitaler flugzeuggestützter Sensoren sowohl die Erwartungen bezüglich dieser Parameter, als auch basierend auf dem in Abschnitt 2.2 beschriebenen Datensatz einige praktische Erfahrungen zusammengefasst.

3.2 Geometrische Genauigkeiten

Da die Anforderungen für topographische und thematische Kartierungen bezüglich horizontaler und vertikaler Genauigkeiten stark anwendungsabhängig sind, werden oft exemplarisch die Werte für amtliche Karten herangezogen. So wird für die *horizontale Genauigkeit* eine Standardabweichung von 0.2 mm bis 0.3 mm multipliziert mit der Maßstabszahl gefordert (was z. B. eine Toleranz von 0.2 m bis 0.3 m für einen Maßstab 1:1.000 ergibt). Wenn man andererseits eine Punktmessgenauigkeit von 0.5 bis 1.0 Pixel aus photogrammetrischen Messungen ansetzt, können damit für typische Bodenpixelgrößen in der Größenordnung von 10 cm bis 30 cm (siehe Abschnitt 2.3) die Anforderungen der Maßstäbe 1:1.000 bis 1:500 erfüllt werden.

Empirische Untersuchungen von DÖRSTEL (2003) für das DMC-System ergaben eine Gesamtgenauigkeit, die diese Erwartungen bestätigt: Für signalisierte Punkte wurde nach einer Aerotriangulation eine Genauigkeit von $4\ \mu\text{m}$ bis $5\ \mu\text{m}$ (entsprechend 0.5 Pixel im Bild- bzw. 2.5 cm im Objektraum) erzielt. FRICKER & HUGHES (2003) berichten von Abweichungen von jeweils 0.5 Pixel in x- und y-Richtung in unabhängigen Kontrollpunkten nach einer Triangulation mit ADS 40-Daten (Bodenpixelgröße 20 cm).

Für die *vertikalen Genauigkeiten* sind die Nutzer-Anforderungen noch heterogener als bei den Lageabweichungen. Als ein Orientierungswert kann z. B. die Genauigkeit von 0.5 m für das DGM5-Höhenmodell der meisten Bundesländer dienen. Auf der anderen Seite erwartet man für standardmäßige Konfigurationen mit großformatigen Filmkameras Höhengenaugigkeiten von 0.1‰ multipliziert mit der Flughöhe (h_G), z. B. also eine Abweichung von 15 cm für $h_G = 1.500$ m. Bei der Verwendung digitaler Systeme liegen andere geometrische Bedingungen vor (insbesondere schlechtere Basis-zu-Höhen-Verhältnisse). Dennoch haben empirische Tests von DÖRSTEL (2003) bzw. FRICKER & HUGHES (2003) für DMC- bzw. ADS 40-Daten vertikale Genauigkeiten für signa-

lisierte Punkte ergeben, die einem Wert von $0.08\% \cdot h_G$ bzw. von $0.07\% \cdot h_G$ entsprechen. Diese Werte sind auf die gute Bildqualität sowie die hohe geometrische Stabilität in den digitalen Daten zurückzuführen. Probleme bei automatisch korrelierten Höhenpunkten können jedoch hinsichtlich der Zuverlässigkeit (bzw. dem Auftreten von Ausreißern) insbesondere in homogenen Regionen wie Gewässern oder heterogenen Siedlungsflächen auftreten.

Im Gegensatz zu den stereoskopisch abgeleiteten Höhen können Laserscanner erfahrungsgemäß vertikale Genauigkeiten in der Größenordnung von 10 cm bis 20 cm für alle topographischen Objekte (d. h. nicht nur für signalisierte Punkte) bei einer größeren Zuverlässigkeit erzeugen (siehe z. B. MAAS 2003).

Zusammengefasst kann festgehalten werden, dass die geometrischen Genauigkeiten digitaler Systeme – genau wie die ihrer analogen Pendanten – definitiv für die Fortführung und teilweise auch Ersterfassung von Kataster- und anderen GIS-Datenbanken geeignet sind.

3.3 Informationsgehalt

Das semantische Potenzial oder der Informationsgehalt beschreibt die Fähigkeit zur anwendungsabhängigen Erkennung und Extraktion von Objekten und Phänomenen auf Grundlage einer gegebenen Datenquelle. Es ist bekannt, dass neben anderem der Informationsgehalt wesentlich von der *geometrischen Auflösung* der Daten abhängig ist. Entsprechende Faustformeln für die *Erkennung* topographischer Objekte fordern eine Bodenpixelgröße von mindestens ca. einem Drittel der Objektausdehnung, während für die eigentliche *Interpretation* der Faktor 1/8 angenommen wird. Berücksichtigt man typische Konfigurationen digitaler Systeme (siehe oben), kann man die Erkennung bzw. Interpretation von Objekten mit Seitenlängen von mehr als ca. 0.5 m bzw. 1.5 m erwarten, was vergleichbar mit den Ergebnissen basierend auf Daten filmbasierter Kameras ist. Abb. 2 verdeutlicht die Detailerkennbarkeit als Funktion der unterschiedlichen Bodenpixelgrößen. Hierbei muss ausdrücklich darauf hingewiesen werden, dass

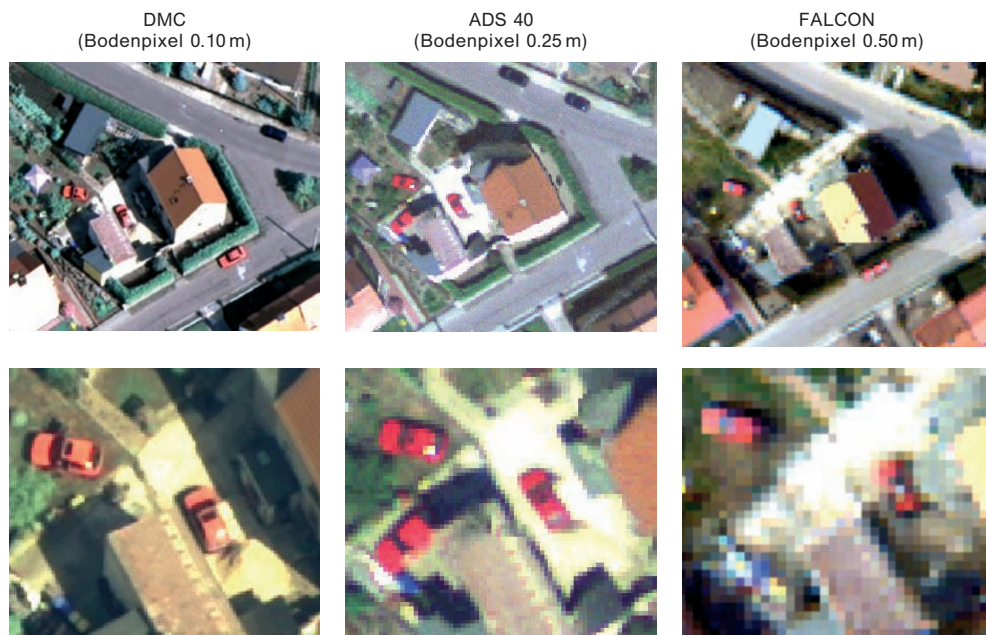


Abb. 2: Vergleich der Detailerkennbarkeit in den Bilddaten in Abhängigkeit von der Bodenpixelgröße (Ausschnittsgrößen: oben ca. 50 m × 50 m, unten ca. 20 m × 20 m).



Abb. 3: links: ADS 40-Bilddaten (Ausschnitt ca. 50 m × 50 m), mitte: abgeleiteter NDVI, rechts: Grobklassifizierung basierend auf NDVI-Schwellwerten.

die in der Abbildung dargestellten Bodenelementgrößen natürlich nicht sensorspezifisch sind, sondern jeweils variabel gestaltet werden können.

Weiterhin führen die verbesserten *radiometrischen Eigenschaften* der digitalen Systeme nicht nur zu einer sehr guten Messgenauigkeit (siehe Abschnitt 3.2), sondern auch zu einer besseren Trennbarkeit benachbarter Objekte innerhalb dunkler oder überbelichteter Problemregionen des Bildes.

Der größte Fortschritt bezüglich des Informationsgehaltes gegenüber konventionellen Kameras kann durch die Verfügbarkeit *multispektraler Bilddaten* erwartet werden, womit der Umfang der Merkmale, die in den Klassifizierungsprozess einfließen, signifikant gesteigert werden kann. Hierzu gehören neben den reinen spektralen Informationen z. B. auch Indizes wie der Normalisierte Differenzen-Vegetations-Index (NDVI, siehe Abb. 3). Ein Anwendungsbeispiel, für welches das multispektrale Potenzial digitaler Systeme sehr gut eingesetzt werden kann, stellt das Biotypen-Monitoring dar (siehe z. B. die Arbeiten auf Basis von HRSC-AX-Daten von GÄHLER et al. 2004, in diesem Heft).

Mit *Multisensor-Systemen* wird die Anzahl ableitbarer Szenenmerkmale noch weiter erhöht, indem aus den zusätzlich zu den Bildern aufgenommenen Höhen- und Intensitätsdaten des Laserscanners Parameter wie Objekthöhen, Höhen- oder Intensitätstextur bestimmt werden können. Mit der *simultanen* Aufnahme werden das grundsätzliche Problem der variablen Objekteigenschaften

in Abhängigkeit vom Aufnahmezeitpunkt umgangen und somit eine zuverlässigere Orthobild-Generierung ermöglicht (siehe z. B. PFLUG et al. 2004) und Fehlklassifizierungen vermieden. Die größere Originalpunktdichte von Laserscanning-Höhen gegenüber stereokorrelierten Daten und den daraus resultierenden, schärfer konturierten Profilen wird in Abb. 4 (oben) deutlich. Abb. 4 (unten) zeigt ferner den erweiterten Merkmalsumfang, der sich durch die Aufzeichnung von Mehrfachreflexionen des Laserscanners ergibt und zur Extraktion von anthropogenen und natürlichen Strukturen herangezogen werden kann (siehe auch SCHIEWE 2004).

Die *Intensitätswerte* des reflektierten, im nahen Infrarot operierenden Laserstrahls stellen eine interessante, aber auch noch wenig untersuchte Datenquelle dar. Nach unseren Erfahrungen ergibt sich ein gewisser Mehrwert bei der Interpretation einiger Objektklassen (z. B. von Einzelbäumen; siehe SAUREN 2002). Andererseits muss aber auch festgehalten werden, dass die Intensitäten innerhalb einer Objektklasse stark variieren können, was z. B. auf Überlagerungs- und Multipath-Effekte der reflektierten Strahlen insbesondere in komplexen (z. B. urbanen) Regionen zurückzuführen ist (siehe hierzu auch KATZENBEIßER & KURZ 2004). Generell können die Intensitäten lediglich als komplementäre Datenquelle angesehen werden, die insbesondere dann einen Mehrwert für visuelle Interpretationen darstellen können, wenn neben den Laserscanning-Höhen keine oder nur minderwertige multispektrale Bilddaten vorhanden sind.

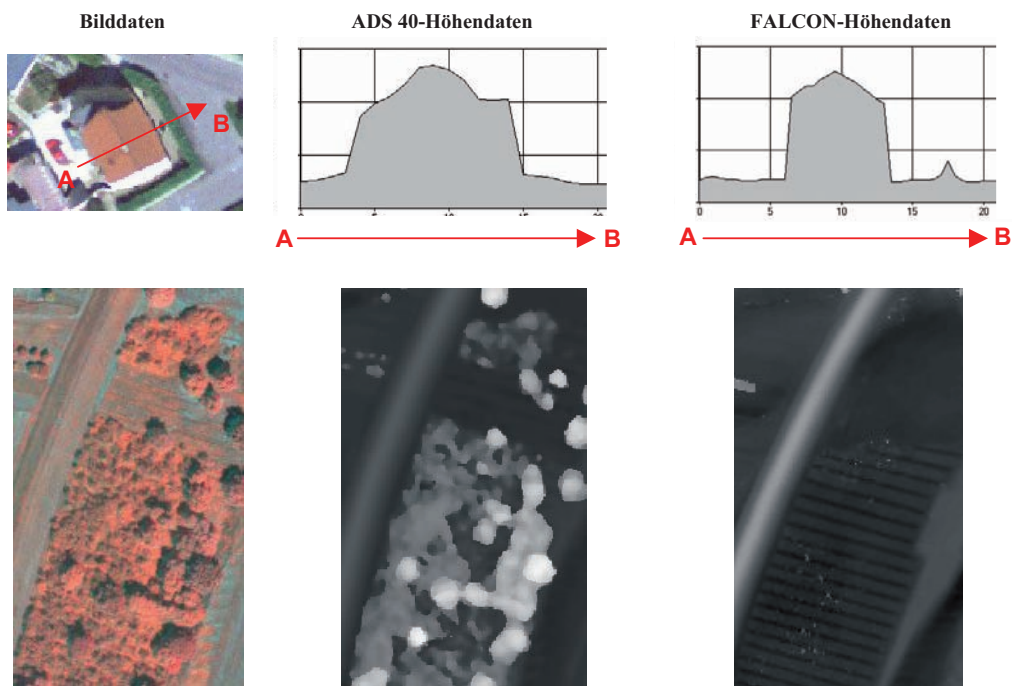


Abb. 4: Ableitung von Höhendaten (Bilddaten jeweils zum Vergleich): obere Reihe: Profile (bessere Kantenerhaltung durch FALCON-Laserscanning-Höhen), untere Reihe: Vergleich zwischen Objekt-oberflächen (ADS 40, d. h. inklusive Baum- und Gebäudenhöhen) und Bodenstrukturen (last echoes des FALCON; Ausschnitt ca. 225 m × 150 m).

Zusammenfassend kann für die Daten digitaler flugzeuggestützter Systeme aufgrund der spektralen und radiometrischen Fortschritte sowie der potenziellen Verfügbarkeit simultan aufgezeichneter und zuverlässiger Höhendaten ein erweitertes Anwendungspotenzial für Landschaftsmo- dellierungen erwartet werden. Entsprechende typische großmaßstäbliche Anwendungen sind z. B. Landnutzungs- bzw. Landbedeckungskartierungen, Abschätzungen von Anbauertrag und Ackerzustand oder Bestandsaufnahmen des Holzvorkommens. Im Gegensatz zu klassischen photogrammetrischen Auswertungen sind hierbei nicht unbedingt Aufnahmen mit höchster räumlicher Auflösung notwendig, sondern es können für großräumige Erfassungen – wie z. B. im Rahmen der EU-weiten Überwachung der Subventionszahlungen an Landwirte (siehe auch SPRUYT & KAY 2004) – auch Bodenelementgrößen um 0,5 m bis 1 m ausreichen.

3.4 Semantische Genauigkeit

Die semantische Genauigkeit, ein anwendungsabhängiges Maß für die *thematische* Klassifizierungsgüte, hängt von einer Reihe von Faktoren ab:

- Mit dem erweiterten Umfang an *Szenenmerkmalen* (siehe Abschnitt 3.3) kann erwartet werden, dass die gesamte Zuverlässigkeit des Klassifizierungsprozesses erhöht werden kann. Andererseits stellen jedoch die Selektion geeigneter Merkmale, der Einsatz standardmäßiger Verfahren zur Extraktion und zur nachvollziehbaren Gewichtung der Parameter sowie die Behandlung eventueller widersprüchlicher Merkmalsausprägungen noch ungelöste Probleme im Gesamtprozess dar.
- Ferner ist ein geeignetes *Objektmodell* zu erstellen, das die (topographischen) Objekte, ihre Merkmale sowie Beziehungen untereinander beschreibt. Mit der Verfüg-

barkeit wesentlich detaillierterer Daten hinsichtlich räumlicher und spektraler Eigenschaften müssen auch die Objektmodelle stärker differenziert aufgebaut werden. Andererseits ist die (automatische) Generierung und Nutzung solcher Objektmodelle noch weit von operationeller Reife entfernt (HEIPKE 2003).

- Schließlich müssen Szenen- und Objektmerkmale über geeignete *Entscheidungskriterien* verglichen und bewertet werden, um eine Objektzuweisung zu ermöglichen. An dieser Stelle gibt es eine Reihe bekannter Verfahren (z. B. basierend auf Wahrscheinlichkeits- oder Fuzzy Logic-Theorie sowie neuronalen Netzen).

Aufgrund der angerissenen Probleme muss zusammengefasst festgehalten werden, dass eine zuverlässige und übertragbare semantische Genauigkeit mit derzeitigen automatisierten oder automatischen Interpretationsverfahren noch nicht möglich ist – dies ist sicherlich als der größte Hinderungsgrund hinsichtlich der Akzeptanz und der tatsächlichen Verwendung neuer digitaler Daten anzusehen.

3.5 Operationelle Aspekte

Hinsichtlich der *Gebietsabdeckung* muss festgehalten werden, dass die digitalen Systeme generell noch Nachteile gegenüber konventionellen Filmkameras aufweisen (vgl. Abschnitt 2.3). Es ist aber zu erwarten, dass dieser gewichtige Nachteil durch die Entwicklung größerer CCD- oder CMOS-Elemente in der näheren Zukunft aufgehoben werden kann.

Die *Aktualität* der Daten hängt von einer Reihe von Faktoren ab. Einerseits wird die Zeitspanne zwischen Aufnahme und Abgabe der prozessierten digitalen Daten an den Nutzer reduziert, weil die Schritte der Filmentwicklung und möglicherweise des Scannens entfallen. Andererseits nimmt die Interpretation von Szenen aufgrund des beschriebenen, fehlenden Automatisierungsgrades (siehe Abschnitt 3.4) immer noch einen wesentlich längeren Zeitraum in Anspruch, was für einige Anwender nicht akzeptabel ist.

Hinsichtlich der *Nachhaltigkeit* der Aufnahmesysteme ist zu erwarten, dass die klassischen filmbasierten metrischen Kameras aufgrund ihrer exzellenten mechanischen und optischen Stabilität noch eine relativ lange Zeit auf dem Markt verbleiben werden. Dagegen muss den digitalen Systemen wohl eine kürzere Lebensdauer prognostiziert werden, die sich durch die rapiden und weiterhin ständig notwendigen technischen Entwicklungen und den daraus ergebenden Veränderungen ergeben werden.

Bezüglich der Kosten kann es aufgrund geringer Erfahrungswerte nur vage und nicht allgemeingültige Aussagen geben. Bei den *Aufnahmekosten* ist zu beachten, dass durch die Fähigkeit zur multispektralen Aufnahme gegenüber konventionellen Filmaufnahmen mehr Informationen mit einer einzigen Befliegung gewonnen werden können und der aufwändige Prozess der Filmentwicklung entfällt. Andererseits sind die absoluten Kosten insbesondere für Laser-scanning-Daten relativ hoch und stellen oft ein Ausschlusskriterium zur Nutzung dar. In entwickelten Ländern wird ferner die Anzahl der künftig verkauften digitalen Aufnahmesysteme davon abhängen, ob öffentliche Institutionen (wie die Landesvermessungsämter) künftig in ihren Ausschreibungen eine digitale statt einer konventionellen photographischen Aufnahme verlangen werden. Auf alle Fälle wird der Mehrfachnutzung von Daten angesichts knapper öffentlicher Kassen eine noch gesteigerte Bedeutung zukommen müssen.

Bezüglich der *Auswertekosten* stellen die effektive Archivierung und der schnellere Zugriff auf die digitalen Daten in einem Geographischen Informations-System einen Vorteil der digitalen Aufnahmen dar. Für eine rein geometrische Auswertung (Georeferenzierung, Aerotriangulation, Orthorektifizierung und Kontrolle) schätzen beispielsweise FRICKER & HUGHES (2003) den Preis auf 5.80 USD/km², was in etwa dem halben Preis für denselben Prozess basierend auf analogen Luftbildern bzw. einem Sechstel basierend auf hoch auflösenden Satellitendaten entspricht. Allerdings berücksichtigen diese Zahlen nicht die Gerätekosten, die ge-

genüber den flugzeuggestützten analogen Pendants um Faktor zwei höher liegen und bei den gesamten Projektkosten aus Amortisierungsgründen sicherlich noch einbezogen werden müssen. Ferner muss das Argument, auch die thematische Auswertung sei aufgrund des kompletten digitalen Datenflusses schneller und damit kostengünstiger, stark bezweifelt werden: In der Praxis benötigt die Szeneninterpretation aufgrund der oben beschriebenen ungelösten Probleme immer noch mindestens den gleichen Zeitumfang wie bisher.

4 Ausblick

Bei der vorangegangenen Diskussion des Potenzials für Daten digitaler flugzeuggestützter Systeme ist deutlich geworden, dass aufgrund der spektralen und radiometrischen Fortschritte sowie der Verfügbarkeit simultan aufgezeichneter Höhendaten eine Reihe neuer *Anwendungsgebiete* erschlossen werden kann. Diese betreffen hauptsächlich thematische Auswertungen wie Landnutzungs- bzw. Landbedeckungskartierungen, Abschätzungen von Anbauertrag und Ackerzustand oder Bestandsaufnahmen des Holzvorkommens. Entsprechend der Variabilität dieser Anwendungen sind in Zukunft auch flexible Aufnahme- und Auswerteszenarios zu entwickeln und einzusetzen.

Für *künftige Aufnahmeszenarien* lässt sich festhalten, dass es aufgrund der Bandbreite der o. g. thematischen Anwendungen sicherlich keine Standardlösung bezüglich Sensor-konfiguration und Auswerteverfahren gibt bzw. geben wird. Neben den üblichen Parametern, die die Auswahl der Sensorik hinsichtlich geometrischer, spektraler und radiometrischer Auflösung sowie des Aufnahmezeitpunktes bestimmen, sind u. a. folgende Faktoren in Betracht zu ziehen:

- Typ und Detaillierungsgrad der zu extrahierenden Objektarten (insbesondere die Frage, ob künstliche Objekte wie Bauwerke von Interesse sind),
- Relieffenergie des zugrunde liegenden Geländes (je bewegter das Gelände, desto größer die Notwendigkeit für genaue Höhendaten),

- Größe des Auswertgebietes (je größer, desto wirtschaftlicher wird auch die Aufnahme von Laserscanning-Daten),
- Aufnahmebedingungen (je stärker die Bewölkungswahrscheinlichkeit, desto wichtiger die Nutzung von aktiven Sensoren wie Laserscannern),
- Verfügbarkeit entsprechender Hardware (Arbeits- und Plattenspeicher) sowie Auswertesoftware, die z. B. die Prozessierung von sehr fein aufgelösten und damit umfangreichen Höhendaten ermöglicht,
- potenzielle Mehrfachverwertung der Daten (zwecks Kostenumlage),
- die weitere Entwicklung bei der Verfügbarkeit amtlicher Geobasisdaten, speziell für Digitale Geländemodelle, die bei einigen Bundesländern teilweise schon mit Laserscanning-Methoden erfasst, aber noch nicht in der originären Punktdichte angeboten werden.

Da immer noch eine zu große Lücke zwischen Nutzererwartungen und Praxis bezüglich eines vollständigen digitalen Datenflusses bei der *Auswertung* und damit eine eingeschränkte Akzeptanz der Datenquellen existiert, sind insbesondere neue oder modifizierte Interpretationsalgorithmen zu entwickeln, die sich durch einen hohen Automatisierungsgrad, große Zuverlässigkeit und Übertragbarkeit auszeichnen. In diesem Kontext sind verschiedene methodische Richtungen voranzutreiben, z. B.:

- Vergleich und Einsatz alternativer Segmentierungsverfahren,
- Methoden zur Extraktion und Gruppierung zusätzlicher Szenenmerkmale,
- Fusionsverfahren – sowohl zur signalbasierten Fusion (vgl. EHLERS & KLONUS 2004, in diesem Heft), als auch insbesondere merkmals- oder entscheidungsbasierte Verfahren (vgl. GREIWE et al. 2004, in diesem Heft),
- multiskalige Prozessierung, sowie
- Objektmodell-Generierung.

5 Danksagung

Die Autoren danken der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) für die Bereitstellung der verwendeten Datensätze.

6 Literatur

- BALTSAVIAS, E. P., 1999: On the performance of photogrammetric scanners. – In: FRITSCH, D. & SPILLER, R. (Eds.): *Photogrammetric Week '99*. – pp. 155–173, Wichmann.
- BLANC, N., 2001: CCD versus CMOS – has CCD imaging come to an end? – In: FRITSCH, D. & SPILLER, R. (Eds.): *Photogrammetric Week '01*. – pp. 131–137, Wichmann.
- DÖRSTEL, C., 2003: DMC – Practical Experiences and Photogrammetric System Performance. – In: FRITSCH, D. (Ed.): *Photogrammetric Week '03*. – pp. 59–66, Wichmann.
- EHLERS, M. & KLONUS, S., 2004: Erhalt der spektralen Charakteristika bei der Bildfusion durch FFT basierte Filterung. – *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation* **2004** (6): 495–506 (dieses Heft).
- FRICKER, P. et al., 2000: ADS 40 – Why LH Systems Took the Three-line Road. – *GIM International*, July 2000: 45–47.
- FRICKER, P. & HUGHES, D.W., 2003: ADS40 data quality for earth observation. – *Proceedings Workshop on "Data Quality in Earth Observation Techniques"* at ITC, Enschede.
- GÄHLER, M., JANOWSKY, R. & SCHIEWE, J., 2004: Automatisierte Ableitung von Biototypen aus räumlich höchstauflösenden, multispektralen Bild- und Laserscanningdaten. – *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation* **2004** (6): 475–484 (dieses Heft).
- GREIWE, A., BOCHOW, M. & EHLERS, M., 2004: Segmentbasierte Fusion geometrisch hochauflösender und hyperspektraler Daten zur Verbesserung der Klassifikationsgüte am Beispiel einer urbanen Szene. – *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation* **2004** (6): 485–494 (dieses Heft).
- HEIPKE, C., 2003: *Photogrammetrie & Fernerkundung – vom Elektronenmikroskop bis zur Planetenbeobachtung*. – *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation* **2003** (3): 165–180.
- HOFMANN, O., 1983: Bildgüte aktiver und passiver Abtaster. – *Bildmessung u. Luftbildwesen* **51** (3): 103–117.
- KATZENBEIßER, R. & KURZ, S., 2004: Airborne Laser-Scanning, ein Vergleich mit terrestrischer Vermessung und Photogrammetrie. – *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation* **2004** (3): 179–187.
- KRAUS, K., 2004: *Photogrammetrie*. Band 1. – 7. Aufl., Verlag de Gruyter.
- LEBERL, F. & GRUBER, M., 2003: Flying the New Large Format Digital Aerial Camera Ultracam. – In: FRITSCH, D. (Ed.): *Photogrammetric Week '03*. – pp. 67–76, Wichmann.
- LEMMENS, M., 2004: Product Survey on Airborne Laserscanners. – *GIM International* **5**: 45–47.
- MAAS, H.G., 2003: Planimetric and height accuracy of airborne laserscanner data: User requirements and system performance. – In: FRITSCH, D. (Ed.): *Photogrammetric Week '03*. – pp. 117–125, Wichmann.
- PFLUG, M., RINDLE, P. & KATZENBEIßER, R., 2004: True-Ortho-Bilder mit Laser-Scanning und multispektralem Zeilenscanner. – *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation* **2004** (3): 173–178.
- SAUREN, W., 2002: *Automatisierte Erfassung von Waldgebieten aus Laserscanningdaten*. – Diploma thesis at the University of Vechta, Research Center for Geoinformatics and Remote Sensing.
- SCHIEWE, J., 2004: Fusion multisensoraler Daten zur Extraktion von Oberflächenkanten. – In: SEYFERT (Hrsg.): *Vorträge 24. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF (Halle/S.)*.
- SCHIEWE, J. & EHLERS, M., 2004: A novel method for generating 3D city models from high resolution and multi-sensoral remote sensing data. – *International Journal for Remote Sensing* (begutachtet, im Druck).
- SPILLER, R., 2000: DMC – Why Z/I Imaging Preferred the Matrix Approach. – *GIM International*, July 2000: 66–68.
- SPRUYT, P. & KAY, S., 2004: Quality Assessment Test with Leica Geosystems ADS40: Digital Airborne Orthoimagery. – *GIM International* **6**: 35–37.

Anschrift der Autoren:

PD Dr.-Ing. JOCHEN SCHIEWE
 Prof. Dr.-Ing. MANFRED EHLERS
 Forschungszentrum für Geoinformatik und Fernerkundung an der Universität Osnabrück
 Eichendorffweg 30, D-49377 Vechta
 Tel.: 04441-15-423/-428
 e-mail: jschiewe@fzg.uni-vechta.de
 mehlers@fzg.uni-vechta.de

Manuskript eingereicht: Juli 2004

Angenommen: August 2004

Automatisierte Ableitung von Biotoptypen aus räumlich höchst aufgelösten, multispektralen Bild- und Laserscanning-Daten

MONIKA GÄHLER, RONALD JANOWSKY & JOCHEN SCHIEWE, Osnabrück

Keywords: high resolution sensors, classification, Biotope type mapping, laserscanning

Zusammenfassung: Während die Sensorik zur Erfassung von höchst aufgelösten und multisensorialen Daten zur Verfügung steht, fehlen noch geeignete neue Konzepte und entsprechende Algorithmen, die eine möglichst effektive, bearbeiterunabhängige und reproduzierbare Auswertung durch automatisierte Klassifikationsverfahren garantieren. Dieser Artikel stellt die Ergebnisse von Projekten zur automatisierten Ableitung von Biotoptypen aus flugzeuggestützten, räumlich höchst aufgelösten und multispektralen Bilddaten (HRSC-AX) sowie der kombinierten Nutzung von HRSC-AX- und Laserscanning-Daten vor. Neben der Beschreibung von entwickelten, angepassten Verfahren zur Ableitung und Verarbeitung signifikanter Merkmale aus Bild- und Laserscanning-Daten erfolgt eine Abschätzung des Potenzials und möglicher Hemmnisse der Kombination dieser Datenquellen.

Summary: *Automated extraction of biotope types from spatially highest resolution and multispectral image and laser scanning data.* While the sensor technology for the acquisition of spatially highest resolution and multispectral data is available, suitable concepts and algorithms are still missing that guarantee for an effective, user independent and reproducible automated interpretation process. This contribution will present results of various projects dealing with the automated extraction of biotope types from airborne, spatially highest resolution and multispectral imagery from the HRSC-AX sensor and from laser scanning data. After describing the developed methods for the extraction and processing of significant features from image and laser scanning data an estimation of the potential and of possible restraints with the combination of these data sources will be given.

1 Einleitung

Durch natürliche Entwicklungsprozesse und anthropogene Eingriffe unterliegen Landschaftsräume permanenten Veränderungen. Dementsprechend ist eine fortlaufende Überprüfung und Aktualisierung des Zustandes erforderlich. Zudem kann eine Fortschreibung die Veränderungsprozesse innerhalb der Landschaft aufzeigen, wodurch wichtige Erkenntnisse für Natur- und Landschaftsschutzplanungen geliefert werden können. Folglich ist eine kontinuierliche Beobachtung (Monitoring) von Biotoptypen sinnvoll und notwendig (SEILER et al. 2004).

Mit Hilfe konventioneller Methoden der Biotoptypenerfassung, wie der terrestrischen Kartierung oder der visuellen Interpretation von analogen CIR-Luftbildern, sind fortlaufende Aktualisierungen nur unzureichend realisierbar (BfG, 2000). Zum einen steht der hohe Zeit- und Kostenaufwand dieser etablierten Verfahren einer Durchführung in kurzen Zeitintervallen entgegen. Andererseits ist mit den bisherigen Methoden der Datenaufnahme bzw. -verarbeitung eine notwendige exakte Vergleichbarkeit der Datenbestände nicht gewährleistet. Subjektivität bei der Auswertung, Generalisierungen sowie eine hohe Fehlertoleranz bezüglich der räumlichen Abgrenzung

der Biotoptypen führen dazu, dass Veränderungen der Landschaftsausstattung nur eingeschränkt zu identifizieren sind.

Die Verfügbarkeit neuer flugzeuggetragener Sensoren (z. B. DMC, ADS 40, HRSC-AX, Ultracam-D), die digitale Bilddaten höchster räumlicher Auflösung liefern, stellen in Kombination mit geeigneten Auswerteverfahren einen möglichen Lösungsansatz zur Überwindung der genannten Unzulänglichkeiten bei der Erfassung und regelmäßigen Aktualisierung des Ist-Zustandes der Landschaft dar. Zurückzuführen ist dies nicht nur auf die digitale Datenaufnahme und den damit verbundenen potenziellen digitalen Datenfluss, sondern insbesondere auf die multispektralen Eigenschaften sowie eine verbesserte radiometrische Auflösung (siehe hierzu auch SCHIEWE & EHLERS 2004, in diesem Heft).

Darüber hinaus können zusätzlich zu den Bilddaten Digitale Oberflächenmodelle aus stereoskopischen Aufnahmen automatisiert abgeleitet werden. Eine alternative Methode zur Herstellung von Höhendaten ist der Einsatz von Laserscanning-Systemen. Inzwischen existieren auch Sensorsysteme, die simultane Aufnahmen von Laserscanning- und multispektralen Bilddaten erzeugen können (z. B. FALCON, ALTM/DSS oder ALS50/ADS40, vgl. SCHIEWE & EHLERS 2004). Durch diese Multisensorsysteme wird das Potenzial zur Auswertung und Nutzung von Fernerkundungsdaten in einem Geoinformationssystem (GIS) weiter erhöht.

Während die Sensorik zur Erfassung der hoch aufgelösten und multisensoralen Daten nun zur Verfügung steht, fehlen aber noch geeignete Konzepte und entsprechende Auswertelgorithmen zu deren Auswertung (BLASCHKE & STROBL 2001). Aus diesem Defizit wurden diverse Projekte zur automatisierten Auswertung räumlich höchstauflösender Daten durchgeführt. Projektziele waren die hochgenaue Erfassung und das langfristige Monitoring von Biotoptypen und ihren Veränderungen in den Uferandbereichen der tidebeeinflussten Unterläufen von Elbe und Weser sowie deren Nebenflüsse infolge von Ausbaumaßnahmen. Hierfür konnte basierend auf HRSC-AX-Daten ein

hierarchisches Klassifikationsverfahren entwickelt werden, das eine indexbasierte Segmentierung und Vorklassifikation sowie eine GIS-basierte Postklassifikation beinhaltet und zu großen Teilen in automatisierte Abläufe überführt werden konnte. Darüber hinaus wurde der Mehrwert einer kombinierten Nutzung von flugzeuggestützten, hochaufgelösten multispektralen Bilddaten und Laserscanning-Daten zur Biotoptypenklassifikation sowie die Möglichkeiten einer integrativen Auswertestrategie untersucht. Nach einer kurzen Beschreibung der Datengrundlage (Abschnitt 2) werden im Folgenden die in den Projekten entwickelten Methoden (Abschnitt 3) sowie die erzielten Ergebnisse und Genauigkeiten (Abschnitt 4) erläutert.

2 Datengrundlage

Im Rahmen der hier vorgestellten Biotoptypenmonitoring-Vorhaben wurden Daten des digitalen Stereoscanners HRSC-A bzw. der neueren Kameraversion HRSC-AX (NEUKUM et al. 2001) verwendet. Die Wahl des Sensors erfolgte aufgrund der zum Projektstart im Jahr 2000 konkurrenzlosen geometrischen und radiometrischen Eigenschaften der erzeugten Bilddaten. In die Auswertung wird ein kompletter HRSC-Datensatz, bestehend aus einem panchromatischen Nadirkanal und vier Farbbändern (Blau, Grün, Rot und Infrarot) sowie einem Digitalen Oberflächenmodell (DOM), eingeführt. Für den effektiven Einsatz bei den großflächigen Untersuchungsgebieten unter Beibehaltung höchstmöglicher geometrischer Genauigkeit wurden die Bilddaten mit einer Bodenpixelgröße von 25 cm bzw. 32 cm (Bilddaten) bzw. 1 m (DOM) aus einer Flughöhe von 3000 m bis 6000 m erhoben. Als absolute Genauigkeiten sind ± 20 cm in horizontaler und ± 30 cm in vertikaler Richtung seitens des Datenlieferanten angegeben.

Weiterhin wurden für ein Gebiet von etwa 65 km² im Rahmen eines Pilotprojektes zur kombinierten Datenauswertung Laserscanning-Daten des Systems ALTM 1225 (Fa. Optech) in den Auswerteprozess aufgenom-

men. Nahezu gleichzeitig zu den HRSC-AX-Bilddaten (d. h. 14 Tage früher im August 2002) wurden Höhen- und Intensitätsdaten des Laserscanning-Systems in 10 überlappenden Streifen bei einer Flughöhe von 1200 m aufgezeichnet, sodass eine durchschnittliche Punktdichte von 1 Punkt/m² erzielt werden konnte. Seitens des Datenlieferanten erfolgte sowohl die Georeferenzierung der Daten, als auch die thematische Klassifizierung (u. a. in die Klassen „Grund mit Wasserflächen“, „Oberflächen“ und „Sonstige Punkte – insbesondere Vegetation“) durch Verwendung spezieller Filteralgorithmen.

3 Methodik zur automatisierten Ableitung von Biotoptypen

Für eine automatische Biotoptypenklassifikation aus höchstauflösenden HRSC-Daten

wurde ein hierarchisches GIS-basiertes Klassifikationsverfahren entwickelt, das in Abschnitt 3.1 erläutert wird. Inwieweit durch die Integration zusätzlicher Höhen- und Intensitätswerte, die durch flugzeuggestütztes Laserscanning aufgezeichnet worden sind, ein Mehrwert für den Klassifizierungsprozess erzielt werden kann, wird anschließend in Abschnitt 3.2 dargelegt.

3.1 Hierarchisches Klassifikationsverfahren auf Basis von HRSC-Daten

Das hierarchische, GIS-basierte Verfahren zur automatischen Biotoptypen-Klassifikation aus HRSC-Daten basiert auf umfangreichen Klassifikations-Versuchen und Fehleranalysen bzw. der Prüfung einer Anzahl von Alternativen bei der Verarbeitung (EHLERS et al. 2000, GÄHLER 2000). Die entwi-

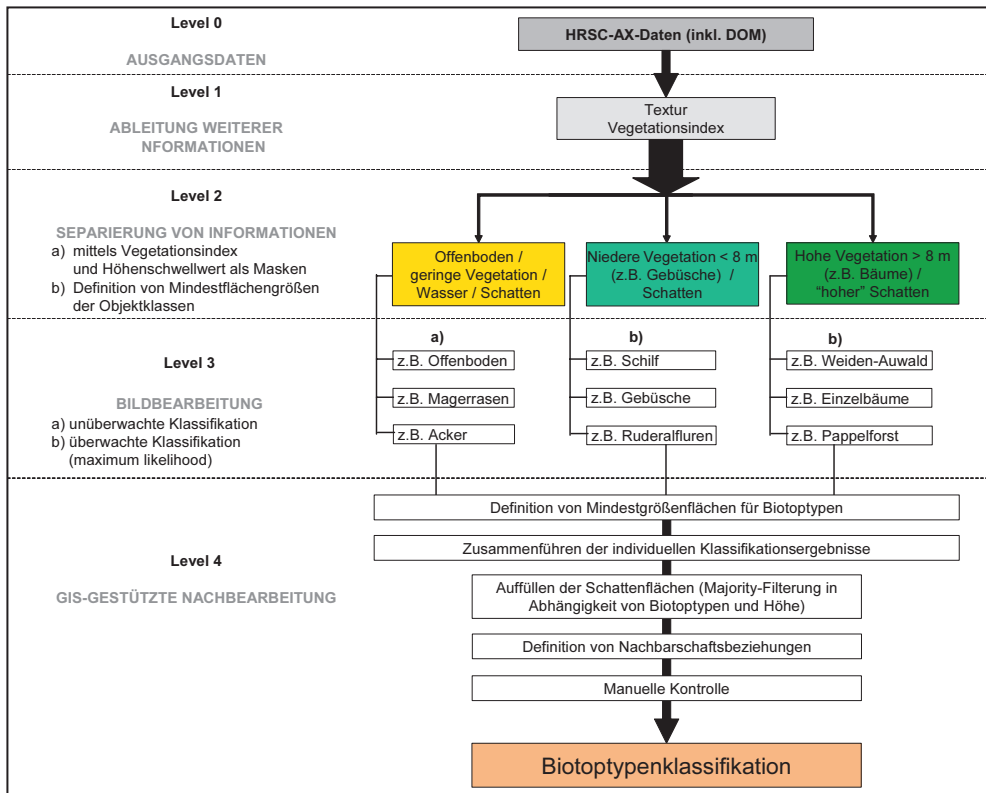


Abb. 1: Flussdiagramm des entwickelten hierarchischen Klassifikationsablaufes auf Basis von HRSC-AX.

ckelte Methode gliedert sich in vier Bearbeitungslevel (vgl. Abb. 1), die nachfolgend beschreiben werden. Weitere Details geben auch EHLERS et al. (2003), GÄHLER & JANOWSKY (2003) sowie GÄHLER et al. (2001).

3.1.1 Level 1: Ableitung weiterer Informationen

Die HRSC-Datenprodukte, d.h. die vier multispektralen Bänder und der panchromatische Nadirkanal, sowie das Digitale Oberflächenmodell (DOM) werden im Level 1 um zwei weitere Bänder, die ein Texturmaß (Varianzfilterung auf der Basis eines kantenverstärkten panchromatischen Bildes) und einen Vegetationsindex (NDVI) repräsentieren, angereichert und zu einem Mehrkanalbild zusammengefügt. Insbesondere die Einbeziehung des Texturmaßes erweist sich bei der Klassifikation (vgl. Abschnitt 3.1.3) zur Unterscheidung von Biotop- und Nutzungstypen mit sehr glatter Oberfläche (wie Wasser oder Mähgrünland) gegenüber solchen mit sehr rauer Struktur (wie Röhricht oder Gebüsch) als sinnvoll.

3.1.2 Level 2: Separierung von Informationen

Diese erweiterten Eingangsdaten können in Level 2 index- bzw. schwellwertbasiert in mehrere semantische Layer getrennt werden: Der berechnete Vegetationsindex NDVI ermöglicht die Trennung von Vegeta-

tion und Nicht-Vegetation. Weiterhin kann zwischen hoher und niedriger Vegetation mittels eines Hörschwellwertes unter Verwendung des DOM differenziert werden. Als Ergebnis der Trennung resultieren die Informationsbestände:

- „Nicht-Vegetation“ (Wasser, Offenboden, geringe Vegetation),
- „Niedrigwüchsige Vegetation“ und
- „Hochwüchsige Vegetation“

Durch die hohe räumliche Auflösung der HRSC-AX-Daten und der pixelorientierten Arbeitsweise werden bei der Trennung der Informationen auch sehr kleine Flächen identifiziert. Diese stellen allerdings nicht unbedingt Instanzen der gewünschten Objektklassen dar und sind daher für die Weiterverarbeitung nicht erwünscht. Daher ist eine Definition von Mindestflächengrößen für die unterschiedlichen semantischen Klassen vor der Trennung der Informationsschichten sinnvoll. Hierfür werden Werte von 40 m² für die niedrigen und hohen Vegetationsbestände sowie 70 m² für die Nicht-Vegetationsbereiche festgesetzt. Die resultierenden Mehrbandbilder (vgl. Abb. 2) können dann anschließend jeweils separat im Level 3 mit Klassifikationsalgorithmen weiterverarbeitet werden.

3.1.3 Level 3: Bildanalyse

Für die weitere Differenzierung der niedrigen und hohen Vegetation findet im Bearbei-

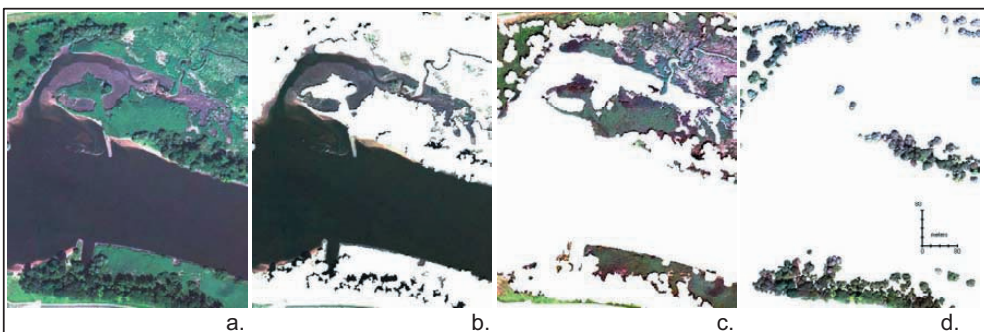


Abb. 2: Trennung der Informationen mit Hilfe des Vegetationsindex NDVI als Maske und eines Hörschwellwertes [a.: Gesamtbild – b: Nicht-Vegetation – c: niedrige Vegetation (< 10 m) – d: hohe Vegetation].

tungslevel 3 unter Verwendung von Trainingsgebieten eine überwachte Klassifizierung (Maximum-Likelihood-Methode) statt. Die weitere Klassifikation der Nicht-Vegetation kann hingegen mit unüberwachten Klassifikatoren (Isodata Clustering) vollzogen werden.

3.1.4 Level 4: GIS-basierte Nachbearbeitung

Level 4 beinhaltet eine GIS-basierte Nachbearbeitung zur Erstellung des endgültigen Klassifikationsergebnisses. Durch die hohe räumliche Auflösung der HRSC-A/HRSC-AX-Daten wird eine Zuweisung von Mindestflächengrößen in Abhängigkeit zum Biotoptyp notwendig. Bei der Zusammenführung der einzelnen Klassifikations-Ergebnisse zu einem Ergebnislayer werden daher Mindestflächengrößen für jeden Biotoptyp definiert (z. B. für geschlossene Baumbestände: 200 m²) und eine zusätzlich definierte Prioritätenliste beachtet.

Anschließend ist durch die Verwendung einer Filtermatrix ein Auffüllen der Schattenbereiche möglich. Allerdings werden durch die Glättung auch die Grenzen zwischen unterschiedlichen Biotoptypen verfälscht. Um die Verzerrung der Grenzbereiche zu minimieren, wurden unter Verwendung des DOM die Schatten in zwei Klassen unterteilt (höher oder niedriger als 10 m). Bei der anschließenden Majority-Filterung werden Schatten, die höher als 10 m sind, nur mit benachbarten Biotoptypenklassen der „hohen Vegetation“ aufgefüllt. Die Schattenbereiche, die niedriger als 10 m sind, werden demzufolge nur mit angrenzenden Biotoptypen „niedriger Vegetation“ ersetzt.

In einem weiteren Arbeitsschritt werden Nachbarschaftsbeziehungen zwischen den einzelnen Biotoptypen berücksichtigt. Hierbei wird beispielsweise eine Straße, die zwischen zwei Wasserobjekten liegt, als Brücke definiert. Zur Sicherstellung der Ergebnisgüte werden die Klassifikations-Ergebnisse anschließend noch einer manuellen Nachbearbeitung unterzogen, u. a. um einzelne Fehlklassifikationen zu eliminieren oder

weitere inhaltliche Unterscheidungen zwischen bestimmten Biotoptypen (z. B. Schilf-Landröhricht und tidebeeinflusstem Schilf-röhricht) vorzunehmen.

3.1.5 Standardisierung

Um diesen hierarchischen Klassifikationsablauf zu standardisieren und zu automatisieren, wurde mit dem ERDAS IMAGINE® Modul „Spatial Modeler“ gearbeitet. Hiermit steht ein Instrument zur Verfügung, mit dessen Hilfe in einem so genannten Modell eine bestimmte Abfolge von verschiedenen und modifizierten ERDAS IMAGINE®-Funktionen definiert werden kann. Diese Modelle wurden inzwischen in die ERDAS IMAGINE®-Oberfläche als eigenes Modul integriert. Eine Übertragung des Verfahrens auf Bilddaten unterschiedlicher Aufnahmezeitpunkte konnte erfolgreich durchgeführt werden.

3.2 Kombinierte Auswertung von Bild- und Laserscanning-Daten

3.2.1 Interpolation der Laserscanning-Daten

Für integrierte Auswertung der HRSC-Bilddaten zusammen mit den Höhen- und Intensitätsdaten aus dem Laserscanning, die originär als unregelmäßig verteilte Punktwolken vorliegen, erfolgt im ersten Schritt eine Transformation in ein hochaufgelöstes Raster mit einer Pixelgröße von 25 cm. Zur weiteren Auswertung bzw. Ableitung von Höhen- bzw. Intensitätsmerkmalen werden aus den Höhendaten ein Digitales Oberflächenmodell (DOM) und ein Digitales Geländemodell (DGM) mittels 3 × 3-Maximum- bzw. 3 × 3-Minimum-Filterung interpoliert. Aus DOM und DGM werden anschließend durch Subtraktion Objekthöhen bzw. ein normalisiertes DOM (nDOM) berechnet (Abb. 3). Die aufgezeichneten Intensitätswerte werden ebenfalls durch eine Interpolation (21 × 21-Mittelwert-Filterung) in ein Raster überführt.

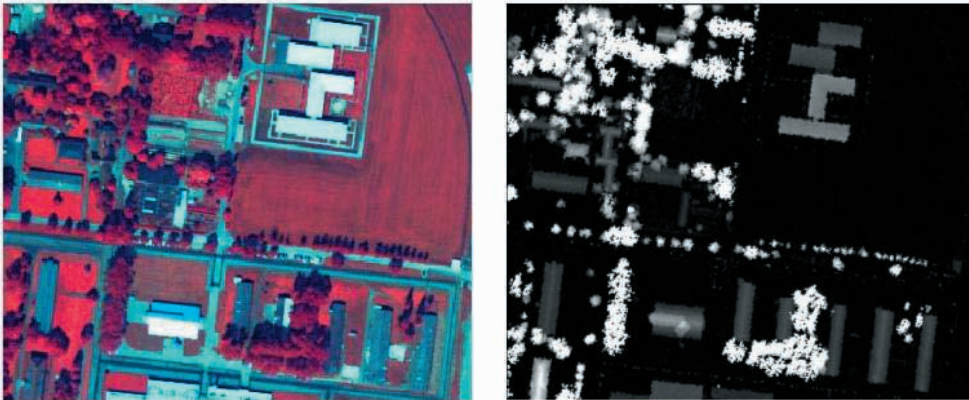


Abb. 3: Bildausschnitt CIR (links) und aus Laserscanning-Daten abgeleitetes nDOM (rechts).

3.2.2 Ableitung und Selektion von Merkmalen aus Laserdaten

Aus den Höhen- und Intensitätsdaten können neben den absoluten Werten zusätzliche Merkmale wie z. B. Gradienten, Krümmungen, Texturen und Aspekte zur Informationsgewinnung abgeleitet werden. Vor dem Hintergrund einer Biotoptypen-Klassifikation wurde die Objektklassen-spezifische Signifikanz aller Merkmale durch eine visuelle Interpretation sowie durch die Bestimmung und Bewertung von statistischen Kennwerten abgeschätzt und interpretiert.

Abgeleitete Höhenmerkmale sind erwartungsgemäß für „hohe“ Biotoptypen sinnvoll einsetzbar. Insbesondere das nDOM, das die absoluten Objekthöhen beinhaltet, kann eine sehr genaue Unterscheidung von Biotoptypen für eine Klassifikation leisten. Die abgeleiteten Höhentexturen (3×3 -Kantenfilterung mit anschließender 3×3 -Varianzfilterung) bieten ebenfalls eindeutige Merkmale für bestimmte Objekttypen wie z. B. zur Unterscheidung von Gebäuden (z. B. Flachdach und Giebeldach), oder der Erkennung komplexer Strukturen (z. B. Obstplantagen). Darüber hinaus bietet eine Kombination der Höhenmerkmale mit spektralen Informationen bzw. das Verhältnis der Höhenmerkmale zueinander eine weitere Option zur Klassifikation.

Auch die Laserintensitätsdaten wurden zur Abschätzung des Potenzials für die

nachfolgende Klassifizierung eingehend untersucht. Die dabei erzielten Resultate können jedoch nur als sehr eingeschränkt als Unterstützung für die Klassifikation beurteilt werden. Zurückzuführen ist dies insbesondere auf den hohen Rauschanteil, die unsicheren Erfassungs- und Korrekturverhältnisse sowie die relativ geringe radiometrische Auflösung der Ausgangsdaten. Auf eine weitere Einbindung der Intensitätsdaten wurde daher verzichtet.

3.2.3 Erweiterung des Klassifikationsalgorithmus und Vergleich der Klassifizierungsergebnisse

Die Einbindung der zusätzlichen Höhenmerkmale in den in Abschnitt 3.1 beschriebenen Klassifikationsalgorithmus erfolgte nach einer Erprobung unterschiedlicher Varianten, die zu folgendem Vorgehen führte: In einem ersten Schritt wird der schon vorliegende Datenbestand, der aus den Kanälen Blau, Grün, Rot, Nahes Infrarot, Pan, DOM, NDVI und Textur besteht, um das nDOM und die Höhentexturen ergänzt. Durch die Kombination der Merkmale der absoluten Objekthöhe, des NDVI, der Höhentextur sowie einer Mindestflächengröße (40 m^2) kann eine genaue Detektion von hohen Vegetationsbeständen, sonstigen hohen Objekten (z. B. Gebäude), niedriger Vegetation sowie niedriger Nicht-Vegetation (z. B. offener Boden, Wasserbereiche) erzielt wer-

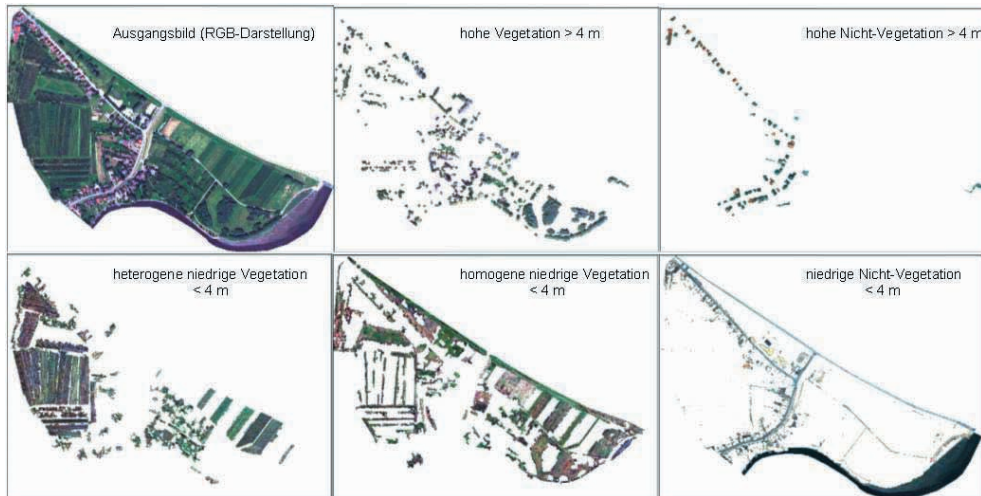


Abb. 4: Trennung von Objektklassen anhand des Beispiels „Este-Mündung“.

den (siehe Abb. 4). Die weitere Unterscheidung der Objektklassen wird weiterhin durch unüberwachte und überwachte Klassifizierungen und eine anschließende GIS-basierte Postklassifikation vorgenommen.

4 Ergebnisse und Bewertung

4.1 Mehrwert gegenüber Felderfassung

Am Beispiel eines Ausschnittes des Testgebietes Elbinsel Heuckenlock werden die Abweichungen zwischen den Ergebnissen der computergestützten Biotoptypen-Klassifikation mit den Resultaten der terrestrischen Geländekartierung und anschließendem On-Screen-Digitizing erläutert (vgl. Abb. 5).

Es wird deutlich, dass die Abgrenzung der Bestände mit Hilfe der computergestützten Methode mit sehr hoher Lagegenauigkeit vollzogen wurde. Auch kleinere Bestände bis hin zu Einzelbäumen können lage- und flächentreu wiedergegeben werden. Im Rahmen einer Kartierung ist dies in der Regel wegen des zu hohen Aufwandes für die Nachzeichnung jedes einzelnen Baumes in großen Untersuchungsgebieten nicht realisierbar. Daher wird auch bei der Betrachtung der Gehölzbestände die Generalisierung besonders deutlich. Folglich eignet sich

die vorliegende Referenzgrundlage zur Validation der Ergebnisse der Bildklassifikation aufgrund der starken Generalisierung auch nur bedingt. Angesichts dieser Problematik besitzen konventionelle Angaben zur Klassifikationsgenauigkeit nur eine sehr eingeschränkte Aussagekraft.

4.2 Mehrwert der kombinierten Auswertung

Das Ergebnis der Biotoptypenklassifikation unter Verwendung der Bild- und Laserdaten (ohne manuelle Überarbeitung) für das Untersuchungsgebiet Este-Mündung, das im Gegensatz zum Gebiet Heuckenlock stark anthropogen überformt ist, wird in Abb. 6d dargestellt. Dem gegenüber gestellt sind das Ausgangsbild (Abb. 6a), das Ergebnis der Digitalisierung mit anschließender Attributierung (Abb. 6b) sowie das Ergebnis der Biotoptypenklassifikation des Gebietes auf Grundlage von HRSC-AX-Daten *ohne* ALTM-Daten und ohne manuelle Überarbeitung (Abb. 6c).

Bei der visuellen Überprüfung wird deutlich, dass *ohne* die Verwendung der ALTM-Daten eine automatisierte Klassifikation insbesondere der komplexen oder heterogenen Strukturen (wie z. B. Obstplantagen, unregelmäßig verbuschende Flächen) ent-

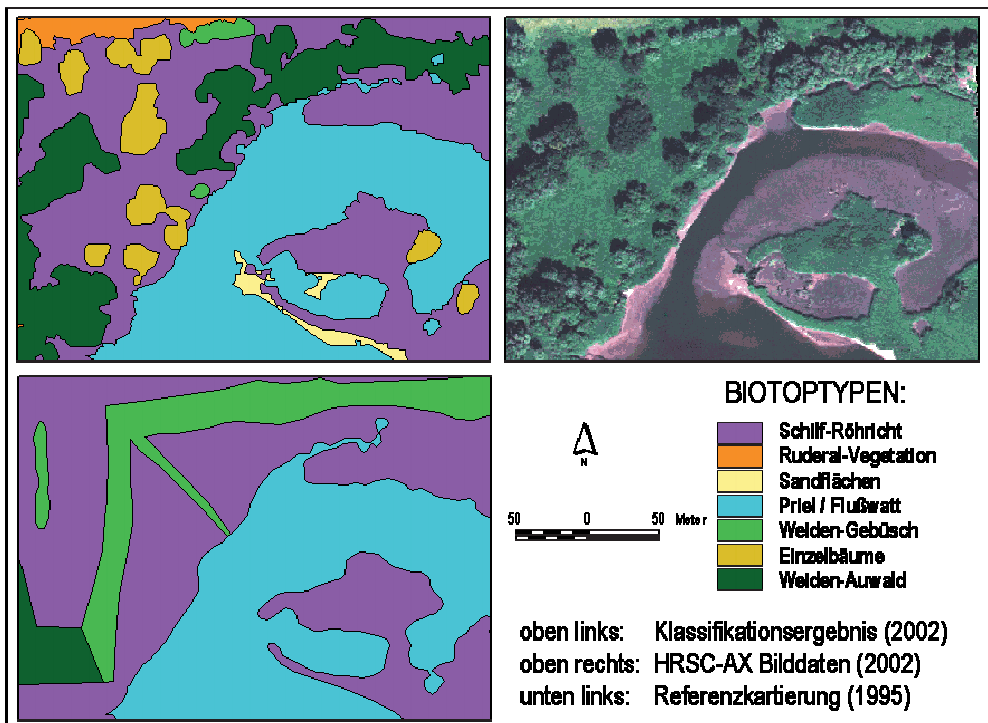


Abb. 5: Vergleich der Klassifikationsergebnisse am Beispiel des Untersuchungsgebietes Heuckenlock.

weder nicht als zusammenhängende Objekte identifizierbar sind, oder aber eine sehr starke Generalisierung dieser Teilgebiete erfolgt, so dass andere Elemente innerhalb dieser Strukturen (z. B. Straßen oder Wege) nicht mehr erkannt werden können. Durch die Unterscheidung in heterogene und homogene niedrige Vegetation mittels der aus dem nDOM abgeleiteten Höhentexturen und Mindestobjektgrößen vor der eigentlichen überwachten Klassifikation können diese komplexen Strukturen deutlich besser abgegrenzt werden. Auch die Elemente innerhalb dieser Strukturen (wie Wege o. ä.) sind weiterhin identifizierbar.

Ferner können durch die Einbindung der Höhenmerkmale basierend auf Laserscanningdaten insbesondere die hohen Objekte mit „scharfen Kanten“ wie z. B. die Gebäude oder andere anthropogene Elemente erwartungsgemäß deutlich besser automatisiert bestimmt werden. In dem entsprechenden Ergebnis der Biotoptypenklassifikation nur auf Basis der HRSC-AX-Daten werden

viele Häuser der umliegenden Objektklasse Straße zugewiesen oder sehr unscharf abgegrenzt. Demnach mussten bisher unter Verwendung dieser Methode diese Fehler manuell überarbeitet werden. Für die Abgrenzung von hohen Vegetationsbeständen (wie z. B. Bäumen) ist für dieses Untersuchungsgebiet nur ein geringer Mehrwert zu ermitteln.

Eine Unterscheidung bestimmter Biotoptypen ist jedoch auch weiterhin durch eine kombinierte Datennutzung nicht möglich. Hierzu gehört z. B. die Trennung zwischen Grünflächen und Garten/Rasen sowie zwischen Parkplätzen und Straßen, da sich diese Objektklassen weder multispektral noch durch ihre Höhe unterscheiden.

Die Untersuchung der Klassifikationsgüte, die für die automatisierte Interpretation des Areal Estre-Mündung ohne nachfolgende manuelle Überarbeitung bestimmt wurde, bestätigt die Ergebnisse der visuellen Kontrolle. Die Überprüfung erfolgte anhand von 100 zufällig gewählten Punkten im

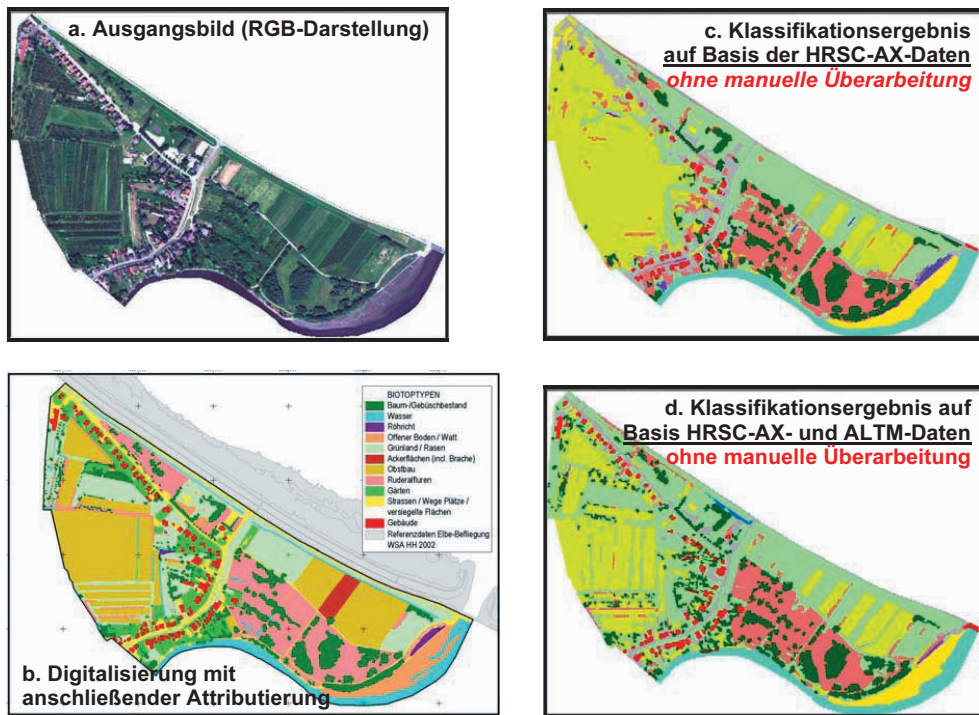


Abb. 6: Ergebnisvergleich für das Untersuchungsgebiet Este-Mündung.

Untersuchungsgebiet, wobei in Abhängigkeit des Vorkommens bzw. der Fläche eine Gewichtung vorgenommen wurde. Die Gesamtklassifikationsgenauigkeit beträgt 67%, der Kappa-Koeffizient 0,60. Diese Werte sind damit signifikant höher als die für die Klassifizierung basierend auf HRSC-AX-Daten (54% bzw. 0,44). Diese insgesamt relativ „schlechten“ statistischen Kennwerte, die sich auf die „Rohklassifikation“ ohne Nachbearbeitung beziehen, sind neben tatsächlichen Fehlklassifikationen auf folgende Ursachen zurückzuführen:

- Aufgrund typischer Generalisierungsprozesse stellt die aus einer manuellen Digitalisierung abgeleitete Vergleichsgrundlage keine exakte Referenz dar (insbesondere werden Objektgrenzen beim Digitalisieren stark geglättet).
- Die Klassifikation erkennt richtigerweise kleine Objekte (z. B. Bäume), die in der Referenz aber Bestandteil einer großräumigen Klasse (z. B. Kleingarten) sind. Hier liegen also eher (teilweise nicht lös-

bare) Defizite bei der Objektmodellierung bzw. der Definition der Biotoptypen vor.

5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Während die Erfassung von räumlich hoch aufgelösten, multisensoralen Daten technisch weit fortgeschritten ist, fehlen noch geeignete Konzepte und entsprechende Algorithmen zu deren Auswertung. In den vorgestellten Projekten wurde das Potenzial höchstauflösender, digitaler Flugzeugscannerdaten für ein flächenscharfes Biotoptypen-Monitoring untersucht. Hierzu wurde ein automatischer und standardisierter Klassifikationsablauf entwickelt, der basierend auf der digitalen Datenbasis GIS- und Fernerkundungsmethoden integriert. Eine Übertragung des Verfahrens auf Bilddaten unterschiedlicher Aufnahmezeitpunkte (hier im Abstand von zwei Jahren) konnte nachgewiesen werden.

Darüber hinaus wurde zur kombinierten Nutzung multispektraler Bild- und Laser-

scanning-Daten zur Biotoptypenklassifikation festgestellt, dass eine Ableitung von Merkmalen aus Laserscanning-Daten sowie deren Integration in die entwickelten Auswertelgorithmen einen Mehrwert für Klassifikationen darstellen kann. Der Vorteil ist vor allem in urbanen Bereichen bzw. stark anthropogen überformten Gebieten mit scharfen Objektkanten zu erkennen. Für die Abgrenzung von natürlichen und naturnahen Strukturen und Objekten (wie z. B. Bäumen) ist ebenfalls ein Mehrwert für die Unterscheidung der verschiedenen Objekttypen zu ermitteln. Dieser muss bei gleichzeitiger Betrachtung des höheren Zeit- und Kostenaufwandes jedoch als verhältnismäßig gering eingeschätzt werden. Allerdings ist vor dem Hintergrund, dass das vorliegende Untersuchungsgebiet ein flaches Relief aufweist und das DOM hier nahezu die Objekthöhen repräsentiert, der Zugewinn an Information bzw. Detailschärfe in Gebieten mit mehr Reliefenergie als deutlich höher einzuschätzen. Hingegen konnten Intensitätswerte bzw. -merkmale bei der vorliegenden Datenbasis keine Unterstützung zur weiteren Unterscheidung von Biotoptypen leisten. Für das Szenario, dass keine weiteren Multispektraldaten vorliegen sollten, könnten die Intensitätswerte aber sicherlich eine Unterstützung bei einer visuellen, eventuell auch der automatisierten Auswertung bieten.

6 Danksagung

Die hier vorgestellten Ergebnisse basieren auf mehreren Projekten, die sowohl vom Wasser- und Schifffahrtsamt Hamburg, als auch vom Wasser- und Schifffahrtsamt Bremerhaven sowie von der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) gefördert wurden.

7 Literatur

- BfG, 2000: Computergestützte Klassifizierung von Biotoptypen auf Grundlage digitaler hochauflösender multispektraler Scannerdaten (HRSC-A). – Unveröffentlichter Projektabschlussbericht.
- BLASCHKE, T. & STROBL, J., 2001: What's Wrong with Pixels? Some Recent Developments Interfacing Remote Sensing and GIS. GIS – Zeitschrift für Geoinformationssysteme **6**: 12–17.
- EHLERS, M., GÄHLER, M. & JANOWSKY, R., 2003: Automated Analysis of Ultra High Resolution Remote Sensing Data for Biotope Type Mapping: New Possibilities and Challenges. – ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, **57** (5-6): 315–326.
- EHLERS, M., MÖLLER, M., JANOWSKY, R. & GÄHLER, M., 2000: Entwicklung einer Methode zur automatisierten Biotoptypen-erfassung auf der Grundlage von HRSC-A-Scannerdaten. – Unveröffentlichter Projektabschlussbericht.
- GÄHLER, M., 2000: GIS-basierte Biotoptypenklassifikation auf Grundlage von multispektralen HRSC-A-Scannerdaten – Untersuchung der Einsatzmöglichkeiten am Beispiel der Elbinsel Pagensand. – Diplomarbeit, Universität Osnabrück.
- GÄHLER, M. & JANOWSKY, R., 2003: Hierarchisches Klassifikationsverfahren zur automatisierten Ableitung von Biotoptypen aus HRSC-AX-Scannerdaten. – Publikationen der DGPF (Jahrestagung Bochum, 2003), **12**: 81–88.
- GÄHLER, M., JANOWSKY, R. & SCHRÖDER, R., 2001: Automatisierte Biotoptypenklassifizierung auf Basis höchstauflösender Flugzeugscannerdaten. – In: BLASCHKE, T. (Hrsg.): Fernerkundung und GIS. Neue Sensoren – innovative Methoden. – pp. 233–242, Heidelberg.
- NEUKUM, G. & HRSC-Team, 2001: The Airborne HRSC-AX cameras: evaluation of the technical concept and presentation of application results after one year of operation. – In: FRITSCH, D. & SPILLER, R. (Hrsg.): Photogrammetric Week 2001, Heidelberg: 117–130.
- SCHIEWE, J. & EHLERS, M., 2004: Semantisches Potenzial digitaler flugzeuggestützter Fernerkundungssensoren. – Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation **2004** (6): 463–474 (dieses Heft).
- SEILER, U., NEUBERT, M. & MEINEL, G., 2004: Automatisierte Erfassung von Biotop- und Nutzungstypen. – Naturschutz u. Landschaftsplanung **36** (4): 101–105.

Anschrift der Autoren

Dipl.-Geogr. MONIKA GÄHLER
 Dipl.-Biol. RONALD JANOWSKY
 PD Dr.-Ing. JOCHEN SCHIEWE
 Forschungszentrum für Geoinformatik und Fernerkundung
 Universität Osnabrück
 Eichendorffweg 30, D-49377 Vechta
 Tel.: 04441-15-428/-241/-428
 e-mail: {mgaehler, rjanowsky, jschiewe}@fzg.uni-vechta.de

Manuskript eingereicht: Juli 2004
 Angenommen: August 2004

Segmentbasierte Fusion geometrisch hoch aufgelöster und hyperspektraler Daten zur Verbesserung der Klassifikationsgüte am Beispiel einer urbanen Szene

ANSGAR GREIWE, MATHIAS BOCHOW & MANFRED EHLERS, Osnabrück

Keywords: remote sensing, imaging spectrometry, data fusion, urban site

Zusammenfassung: Sensordaten von drei flugzeuggetragenen Fernerkundungssystemen wurden über einem urbanen Testgebiet (Innenstadt von Osnabrück) aufgenommen. Um die Klassifikationsgüte durch eine Kombination der geometrisch hoch aufgelösten Orthophotos mit hyperspektralen Daten und einem Digitalen Oberflächenmodell zu verbessern, wurde eine segmentbasierte Fusion entwickelt. Nach Segmentierung der geometrisch hoch aufgelösten Orthophotos sind zur Klassifikation dieser Bildsegmente 19 Klassen mit zum Teil visuell sehr ähnlichen Oberflächen definiert worden. Des Weiteren ist durch Überlagerung der Bildsegmente aus den hyperspektralen Bilddaten die Ableitung entsprechender Referenzspektren für die jeweiligen Oberflächenmaterialien möglich. Nach Ableitung einer Maßzahl (sog. SAM-Score) aus einer Klassifikation der hyperspektralen Daten kann auf eine mögliche Klassenzugehörigkeit eines Bildsegments zu einer Materialklasse geschlossen werden. In unterschiedlichen Klassifikationsszenarios wurde die Verbesserung der Klassifikationsgüte durch eine Kombination der vorliegenden Sensordaten nachgewiesen.

Summary: *Segment based fusion of high spatial and high spectral resolution image data for urban classification improvement.* An urban test site (inner city of Osnabrueck, Northern Germany) has been mapped by three different airborne sensors. The recorded data (digital orthophotos, hyperspectral image data and a digital elevation model) were fused at feature level in order to improve the classification accuracy. Image segments were derived from the orthophotos, representing parts or the whole surface of an urban object. 19 classes were defined for these urban surface objects and end-member spectra of corresponding urban surface materials were derived from hyperspectral image data by use of the image segments. Classification results of hyperspectral image data were transformed to an 8-bit score (so called SAM-Score) containing information about the spectral fitting of a segment to a given class. Classification with different combinations of the available data were carried out in order to prove validity of the presented concept and to quantify the improvement of the classification accuracy.

1 Einleitung

Der Einsatz von Fernerkundungsdaten für Planungen, Monitoring, Modellierungen und für den Aufbau von Umweltinformationssystemen in Regionen mit kleinräumiger Struktur und einer großen Nutzungsvielfalt bedingt in zweierlei Hinsicht eine hohe Qualität der zu verwendenden Fernerkundungsdaten. Einerseits ist eine hohe geometrische Auflösung der Sensoren erforderlich,

um Grenzen oder Bestandteile der zu klassifizierenden Objekte trennen zu können, andererseits ist das Spektrum der reflektierenden Oberflächen für eine befriedigende Differenzierung möglichst detailliert abzutasten. Die spektrale Auflösung geometrisch höchstauflösender Systeme (SCHIEWE & EHLERS 2004, in diesem Heft) ist nicht ausreichend, um die aufgenommenen Oberflächen über den Verlauf ihrer Spektren zu charakterisieren und anschließend materialspezi-

fisch zu differenzieren. Hyperspektrale Sensoren (DAIS, HyMap) lassen dagegen aufgrund ihrer hohen Kanalanzahl eine vergleichsweise feine Differenzierung der Oberflächenmaterialien zu. Technische Limitierungen wie die Scanrate (10 Hz bis 25 Hz, vgl. WILSON & COCKS 2003) erlauben für diese Sensoren allerdings keine vergleichbare geometrische Auflösung.

Somit werden Ansätze zur Fusionierung von einerseits spektral und andererseits geometrisch hoch auflösenden Fernerkundungsdaten notwendig. Im Gegensatz zu pixelbasierten Verfahren (LEHMANN et al. 1998, ZHUKOV et al. 1998a, 1998b, 1999) wird in dieser Arbeit ein Ansatz vorgestellt, der sich durch eine segmentbasierte Fusionierung auszeichnet.

2 Zielsetzung

Wird die Erdoberfläche durch einen geometrisch hoch auflösenden Sensor abgetastet, können durch geeignete Verfahren Bildsegmente erzeugt werden (BAATZ & SCHÄPE 2000). Diese Bildsegmente repräsentieren die relativ homogenen Oberflächen eines (Teil-) Objekts. Ziel der hier vorgestellten Arbeit ist die Klassifikation der vorliegenden Bildsegmente unter Verwendung geometrisch und spektral hoch aufgelöster Fernerkundungsdaten sowie daraus abgeleiteter Objekthöhen.

Folgende Aspekte werden behandelt:

- Integration der verschiedenen Daten im Verlauf der Prozessierung,
- Steigerung der Gesamt-Klassifikationsgüte durch die Verwendung von multisensoralen Datensätzen,
- Untersuchung der Trennbarkeit von visuell sehr ähnlicher Landnutzungsklassen aufgrund von Angaben zur Objekthöhe oder zum Oberflächenmaterial.

Zu diesem Zweck wurden 19 Klassen mit zum Teil sehr ähnlichen spektralen Ausprägungen ausgewählt. Dachbedeckungen wurden zum Beispiel farb- und materialspezifisch differenziert. Für rote bzw. dunkle (braune) Dachbedeckungen wurden somit aufgrund der Differenzierung in beton- oder

tonhaltige Materialien vier Klassen definiert (RF_RC = rot/Beton, RF_RY = rot/Ton, RF_BC = braun/Beton und RF_BY = braun/ Ton). Mit Kupfermetall gedeckte Dächer wurden je nach Verwitterungsgrad der Oberfläche in drei Klassen aufgeteilt. Ebenso wurde bei bitumenhaltigen Oberflächen zwischen Dach- und Straßenflächen unterschieden. Die Vegetation wurde in zwei Klassen aufgeteilt (Rasen mit offenem Boden, restliche Vegetation). Von einer weiteren Differenzierung der Vegetation (Klasse „Baum“) wurde aufgrund der ungeeigneten Höhendaten (s. Kapitel 3.2) abgesehen.

3 Datengrundlage

Für das vorgestellte Verfahren wurde eine urbane Testszene (Innenstadt Osnabrück) als Beispiel für eine hohe Landbedeckungs-Varibialität ausgewählt. Ein Gebiet von 410 m Breite und 1524 m Länge in Nord-Süd Ausrichtung wurde von verschiedenen Sensoren erfasst. So standen folgende Datensätze zur Verfügung:

- Digitales Orthophoto System,
- Höhenmodelle aus HRSC- und DGM5-Daten,
- Hyperspektrale Bilddaten (HyMap).

3.1 Digitale Orthophotos

Die hoch aufgelösten Luftbilder wurden mit dem an der FH Bochum entwickelten Luftaufnahmesystem LEO (Local Earth Observation, s. BÄUMKER et al. 1999) am 16. Mai 2003 aufgezeichnet. Die gescannten, im Bildmaßstab 1:10000 aufgenommenen Luftbilder wurden zu einem digitalen Orthophoto (Pixelgröße 12,5 cm) mit einer Lagegenauigkeit von $s_x = 20$ cm, $s_y = 22$ cm mosaikiert. Für die Erzeugung der Bildsegmente wurde ein Mosaik mit einer Auflösung von 50 cm erzeugt.

3.2 Höhenmodelle

Neben einem digitalen Geländemodell (DGM-5, Rasterweite 12,5 m, vertikale Genauigkeit 0,5 m) stand für das Untersu-

chungsgebiet ein weiteres, aus Bilddaten einer HRSC-A Kampagne generiertes Höhenmodell zur Verfügung (MÖLLER 2003). Aus diesen Datensätzen wurde ein normalisiertes Digitales Oberflächenmodell (nDOM) erstellt. Bedingt durch den jahreszeitlich frühen Zeitpunkt der Aufnahme (April 1999) ist anzumerken, dass Objekthöhen der Vegetation nicht korrekt erfasst wurden. Deshalb wurde auf eine weitere Differenzierung der Vegetationsklassen in der Zielsetzung verzichtet.

3.3 HyMap

Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) ermöglichte den Autoren die Teilnahme an der „HyEurope“ Kampagne im Jahre 2003. Somit konnten am 15. Juli 2003 zeitnah zur LEO-Kampagne hyperspektrale Bilddaten mit dem Sensor HyMap für das Untersuchungsgebiet aufgenommen werden. Das reflektierte solare Spektrum zwischen 450 nm und 2500 nm wurde in 128 Kanälen mit einer Scanrate von 16 Hz aufgezeichnet. Durch Wahl einer geringen Flughöhe wurde eine Bodenpixelgröße von 3 m quer und 4 m längs zur Flugrichtung erzielt.

Die aufgezeichneten Bildzeilen des Rohdatenmaterials werden durch parametrische Geokodierung auf ein DGM projiziert (PARGE, s. SCHLÄPFER et al. 1999). Die hierzu notwendigen Metadaten wie Fluglagendaten (INS/GPS) lagen dabei vor. Durch die Verwendung eines DGM mit 2 m Auflösung anstelle der 3 m Auflösung der Bilddaten wurde die Anzahl der „double mapped pixel“ von 1,8% auf 0,3% reduziert (vgl. SCHLÄPFER 2002). Um den Lageversatz einzelner Pixel, bedingt durch unterschiedliche Objekthöhen, zu minimieren, wurde zur Geokodierung das in Abschnitt 3.2 erwähnte nDOM verwendet. Die Lagegenauigkeit der Szene wurde abschließend anhand von Passpunkten überprüft. Sie liegt mit 1,8 m im Bereich der Bodenpixelgröße des geokodierten Flugstreifens und zeigt damit eine zufrieden stellende Genauigkeit. Die gemessenen Strahldichten wurden durch das Softwarepaket FLAASH (Fast Line-of-sight

Atmospheric Analysis of Hyperspectral Cubes, s. ADLER-GOLDEN et al. 1999) in absolute Reflexionswerte überführt. Nach Überprüfung der durch FLAASH ermittelten Reflexionswerte (einige Gewässerflächen enthielten in einigen Kanälen negative Werte) konnten 104 der 128 Bänder für die weitere Bearbeitung verwendet werden.

4 Methoden

Die Oberflächen der zu klassifizierenden Objekte werden durch Bildsegmente der geometrisch hoch aufgelösten Daten repräsentiert. Diese Segmente werden dazu verwendet, Werte aus geometrisch geringer aufgelösten Daten zu aggregieren. So ist neben den Farbwerten der hoch aufgelösten Daten der Bezug eines Segments zu vergleichsweise grob aufgelösten hyperspektralen Daten möglich.

Für die Ableitung von Materialzusammensetzungen aus hyperspektralen Daten sind für die einzelnen Materialien klar definierte Referenzspektren, sogenannte Endmember, notwendig. Diese werden im hier vorgestellten Ansatz durch eine segmentbasierte Endmemberselektion (siehe Kapitel 4.1) aus dem Bildraum der hyperspektralen Daten selektiert. Liegen für alle Klassen Endmember vor, kann der Datensatz mit einem Klassifikationsverfahren wie dem Spectral Angle Mapper (SAM) klassifiziert werden. Aus dem Ergebnis des SAM kann ein Maß für die Zugehörigkeit eines Segments zu einer speziellen Materialklasse abgeleitet werden (SAM-Score, Kapitel 4.2). Die Klassifikation der einzelnen Segmente erfolgt letztlich unter der Berücksichtigung der RGB-Farbwerte, des jeweiligen SAM-Scores und der Höhenwerte des nDOM. Die einzelnen Schritte wie in Abb. 1 dargestellt, sollen im Folgenden näher erläutert werden.

4.1 Segmentbasierte Endmemberbestimmung

Referenzspektren bzw. Endmember können aus Labor- bzw. Feldmessungen mit einem Spektrometer oder alternativ aus den vorliegenden Bilddaten gewonnen werden. Für

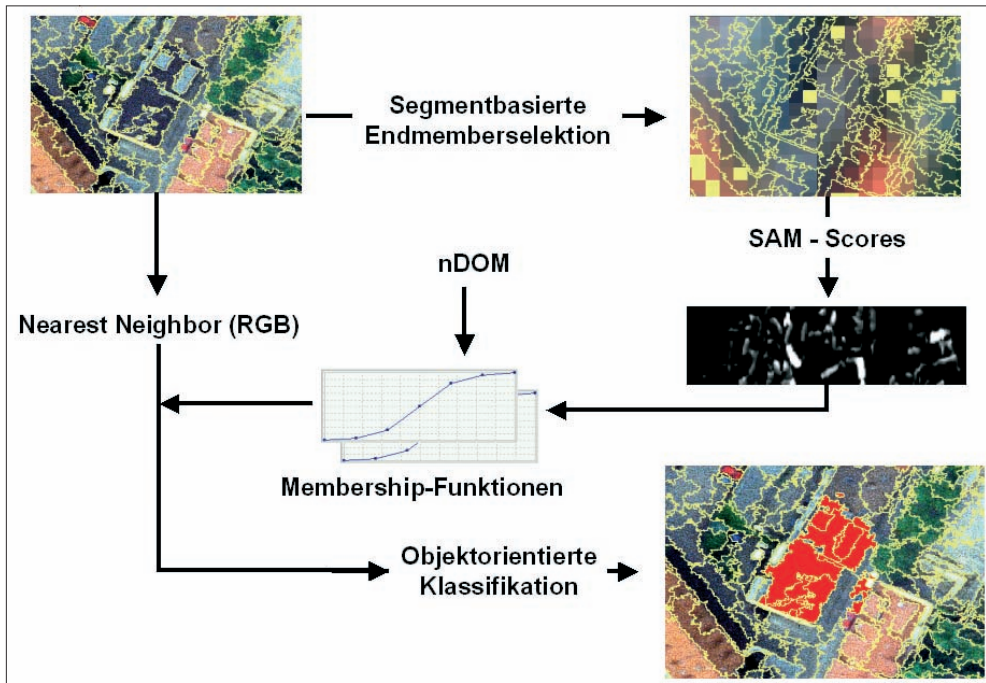


Abb. 1: Ablauf der multisensoralen, segmentbasierten Klassifikation.

die Ableitung von Endmembern aus Bilddaten sind unter anderem folgende Verfahren entwickelt worden:

- Manuelle Endmemberselektion (BATESON & CURTISS 1996),
- Pixel Purity Index (PPI) in Kombination mit dem n-dimensional Visualizer (NDV) – implementiert in der Software ENVI (BOARDMAN et al. 1995),
- NFIND-R (WINTER 1999),
- Iterative Constrained Endmembers Algorithm (ICE) (BERMAN et al. 2003),
- Autonomous Morphological Endmember Extraction (AMEE) (PLAZA et al. 2002)

Die genannten Verfahren setzen voraus, dass die Spektren der gesuchten Endmember sogenannte „spectral features“ aufweisen und sich so von anderen Spektren signifikant unterscheiden. Durch diese Eigenschaft bilden diese Pixel im Merkmalsraum der hyperspektralen Bilddaten eine konvexe Hülle um die Gesamtheit der zu klassifizierenden Pixel. Alle Pixel im Innern der

Punktwolke sind das Resultat einer Mischung der ermittelten Endmember. Je nach Anwendungsfall kann jedoch die a priori Definition einer zu untersuchenden Klasse dazu führen, dass diese Voraussetzungen nicht gegeben sind.

Oberflächen im urbanen Raum bestehen meist aus Materialmischungen. Ihr spektraler Verlauf ist relativ monoton, sie weisen kaum „spectral features“ auf. Als Folge sind die repräsentierenden Referenzpixel solcher Klassen durch Algorithmen wie dem PPI nicht zu detektieren. Um dennoch für jede definierte Klasse Endmember aus den Bilddaten zu gewinnen, werden in unserem Ansatz zunächst alle Pixel im hyperspektralen Datensatz selektiert, die, wie auch deren acht Nachbapixel, vollständig im selben Segment liegen (dargestellt als gelbe Pixel in Abb. 2, Mitte). Aus diesen Endmemberkandidaten werden diejenigen manuell zusammengefasst, die tatsächlich eine Materialklasse repräsentieren. Durch Mittelung der Spektren dieser manuell selektierten Pi-

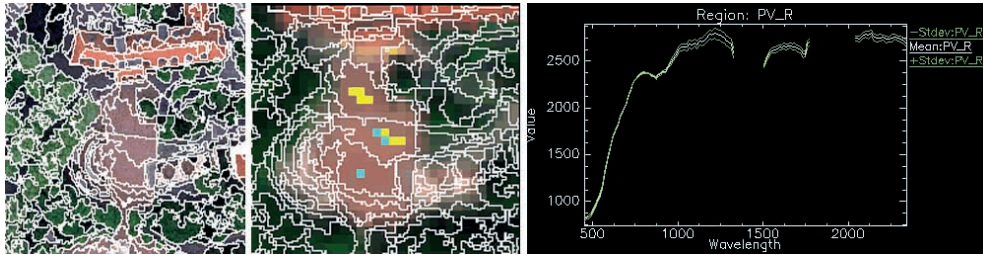


Abb. 2: Segmentbasierte Endmemberselektion, links: Ausschnitt (LEO), Mitte: Endmember (cyan), rechts: Spektrum der Klasse „rotes Pflaster (Beton)“.

xelgruppen entstehen die Spektren der Endmember.

Für jede der 19 a priori definierten Klassen wird ein Endmember definiert. Eine Ausnahme stellen die Klassen „Asphalt“ und „Dach/Bitumen“ dar, für die untersucht wurde, ob ein gemeinsamer Endmember diese beiden bitumenhaltigen Materialklassen ausreichend charakterisiert.

4.2 SAM-Scores

Aus der segmentbasierten Endmember-Selektion resultiert eine Spektralbibliothek (Spectral Library) mit den Referenzspektren der Endmember. Durch ein pixelbasiertes Verfahren wie dem Spectral Angle Mapper (SAM) wird für ein zu klassifizierendes Pixel pro Endmember ein spektraler Winkel nach folgender Gleichung ermittelt:

$$\cos \varphi = \frac{\sum_{i=0}^n e_i r_i}{\sqrt{\sum_{i=0}^n e_i^2} \sqrt{\sum_{i=0}^n r_i^2}} \quad (1)$$

mit

i = Kanal

n = Anzahl der Kanäle

e = Referenzspektrum (Endmember)

r = Spektrum des zu klassifizierenden Pixel

Jedes Pixel erhält so bei n Endmembers n Winkelwerte, die in einem sogenannten Rule-Image abgelegt werden können. Besitzt ein Pixel im Vergleich zu einem Endmember ein identisches Spektrum, erhält es einen Winkelwert = 0. Je kleiner der Winkel, des-

to größer ist die Übereinstimmung zwischen Pixel und Klassendefinition. Durch eine lineare Transformation auf eine 8 Bit Skala kann einem perfekt passenden Pixel (identischer Endmember) der Wert 255 und einem Pixel, dessen spektraler Winkel einen bestimmten Schwellwert überschreitet, der Wert 0 zugewiesen werden. Dieses Maß der Übereinstimmung zwischen Einzelspektrum eines Pixels und Referenzspektrum eines Endmembers wird im Folgenden SAM-Score genannt.

Erste Ansätze mit einem festen Schwellwert für alle Klassen (GREIWE et al. 2003) führten jedoch zu einer Überbestimmung schwach besetzter Klassen (z. B. Wasser in der vorliegenden urbanen Testszene, wie in Abb. 4 dargestellt). Daher wurde ein Verfahren entwickelt, bei dem der Betrag eines Winkelwertes, der zu einem SAM-Score mit dem Wert 0 führt, für jede Klasse automatisiert und somit nutzerunabhängig ermittelt wird.

Hierbei werden zunächst die spektralen Winkel (W) für jedes Pixel der Größe ihres Betrages nach sortiert ($W_i < W_j < W_k$). Aus den Differenzen $W_j - W_i$ und $W_k - W_i$ kann ermittelt werden, ob es einen signifikant besten Winkelwert für dieses Pixel gibt. Sollte dies der Fall sein, wird das Pixel für eine Berechnung des SAM-Score der Klasse i markiert. Ist $W_j - W_i < 0.33 W_i$, wird das Pixel neben Klasse i auch Kandidat für Klasse j . Für die drittbeste Klasse k erfolgt die Überprüfung analog. Der Grenzwert für die Klasse i wird durch den größten Winkelwert aller markierten Pixel der Klasse i bestimmt. Wie aus Abb. 3 ersichtlich, erhält jedes Pixel

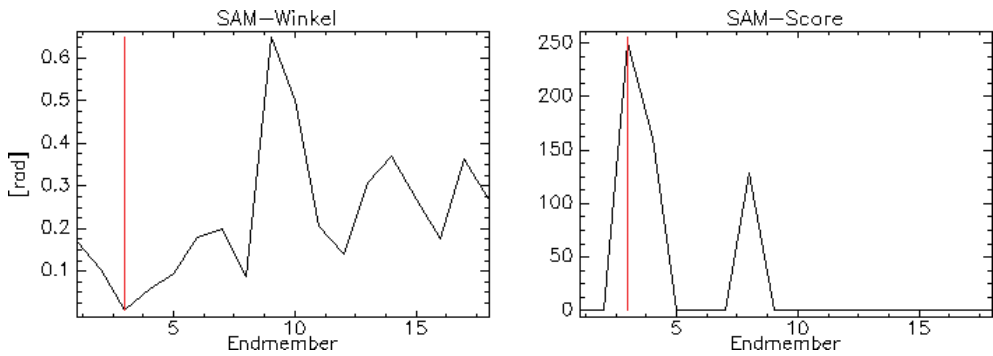


Abb. 3: Pixel mit geringstem SAM-Winkel für Endmember 3 (links) erhält neben einem SAM-Score für Endmember Nr. 3 auch Werte für Nr. 4 und Nr. 8. (rechts).

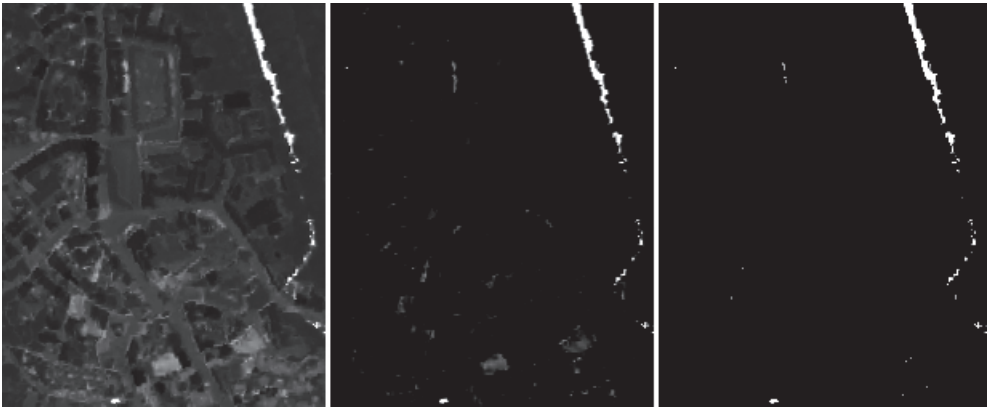


Abb. 4: SAM-Score als Graustufenbild bei der schwach repräsentierten Klasse „Wasser“. Schwellwertselektion: links = fest, mitte = manuell, rechts = automatisch.

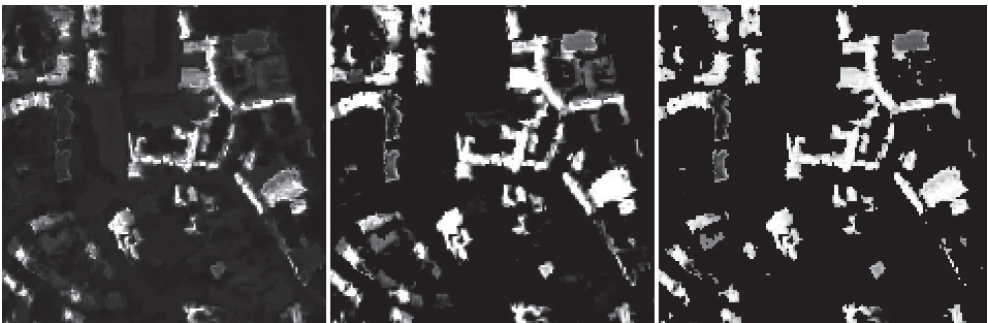


Abb 5: SAM-Score der häufig vorkommenden Klasse „rote Dachbedeckung (Ton)“ Schwellwertselektion: links = fest, mitte = manuell, rechts = automatisch.

für seine maximal drei besten Klassen (kleinste SAM-Winkel) SAM-Scores.

Während das Verfahren mit gleichem Schwellwert nur bei stark repräsentierten

Klassen (s. Abb. 5) funktioniert, ist das hier vorgestellte automatisierte Verfahren unabhängig von der Häufigkeit einer Klasse erfolgreich. Die Ergebnisse in Abb. 4 und 5

zeigen auch deutliche Verbesserungen gegenüber der manuellen Selektion von Schwellwerten (jeweils Mitte), deren Auswahl zudem von Szene zu Szene neu erfolgen müsste.

4.3 Klassifikation

Die Klassifikation wurde mit dem in eCognition implementierten Fuzzy-Logic Klassifikator durchgeführt. Wie aus Abb.6 ersichtlich wird, können einem Segment neben den RGB-Werten die Information über die Objekthöhe sowie einzelne SAM-Scores für mögliche Materialzuweisungen wie „Offener Boden“ (SOIL) oder „rotes Zementpflaster“ (PV_R) zugeordnet werden.

Basierend auf diesen Merkmalsausprägungen werden für jede Klasse Fuzzy-Sets aus den nDOM-Werten und den relevanten SAM-Scores über sog. „membership functions“ erzeugt. Es wurde auf die Möglichkeit der klassenspezifischen Modifikation der „membership functions“ verzichtet und für alle Klassen eine einheitliche Abbildungsfunktion verwendet. Die RGB-Farbinformationen werden über Trainingsflächen einer Klasse zugewiesen und über einen „nearest neighbor“ Klassifikator in ein Maß für eine Klassenzugehörigkeit überführt.

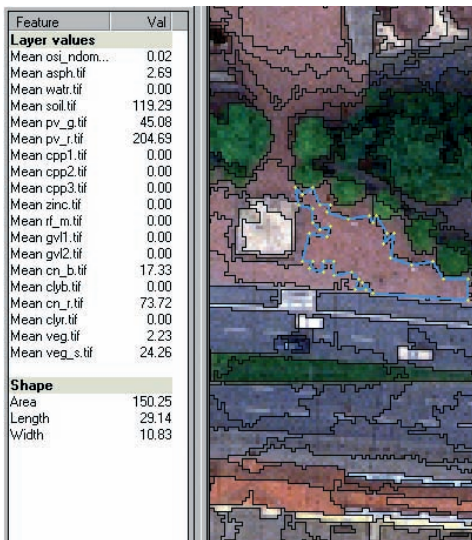


Abb. 6: SAM-Scores und nDOM-Höhe für ein Segment.

5 Ergebnisse und Diskussion

Zum Nachweis der Wirksamkeit des hier beschriebenen Ansatzes wurden in eCognition in verschiedene Klassifikationsszenarios untersucht. Durch Kombination von Ortho-photo, SAM-Score (Ssc) und nDOM wurden folgende fünf Varianten erzeugt:

Tab. 1: Klassifikationsvarianten mit den verwendeten Datensätzen.

Variante	Ortho-Photo	SAM-Score	nDOM
RGB	X		
RGB + DOM	X		X
Ssc		X	
Ssc + DOM		X	X
RGB + Ssc + DOM	X	X	X

Für jede Variante wurde die Erkennungsgüte (user accuracy) und die Gesamterkennungsgüte (overall accuracy) ermittelt. Die Steigerung der Genauigkeit durch Verwendung des nDOM blieb aufgrund der teilweise nicht ausreichenden Genauigkeit der Höhendaten etwas unter den Erwartungen (s. Abb. 7). Die Verwendung der hyperspektralen Daten zeigte hingegen, dass die Trennbarkeit und damit die Gesamterkennungsgüte gesteigert wurden.

Die Ergebnisse zeigen auch deutlich, dass farblich ähnliche Oberflächen mit unterschiedlichen Materialeigenschaften durch eine hyperspektrale Analyse besser klassifi-

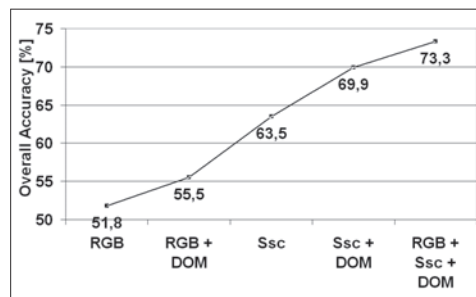


Abb. 7: Erkennungsgüte (overall accuracy) der Varianten aus Tab. 1.

Tab. 2: Erkennungsgüte (user accuracy).

	RGB	RGB mit nDOM	RGB mit nDOM und SAM-Score
Dach (Bitumen)	27	35	32
Straßenfläche	40	62	68
Wasser	69	64	74
Kupferdach_1	61	53	77
Kupferdach_2	91	91	91
Kupferdach_3	16	34	70

ziert wurden als die alleinige Auswertung des Orthophotos (RGB) (hyperspektral: 63,5%, RGB: 51,8%). Wurden nDOM und SAM-Scores zusätzlich in die Klassifikationsprozess aufgenommen, konnte die Genauigkeit signifikant auf 73,3% gesteigert werden. Bei der Betrachtung der Erkennungsgüte einzelner Klassen (s. Tab. 2) wird deutlich, dass der Versuch, einen Endmember aus Straßenflächen-Segmenten für die Klassifikation von bitumenhaltigen Oberflächen zu verwenden, nicht erfolgreich war. Bei Verwendung der SAM-Scores konnte die Erkennungsgüte bitumenhaltiger Dachflächen im Vergleich zu Straßenflächen nicht in demselben Maß gesteigert werden.

Während die Erkennungsgüte von im RGB Farbraum schwer differenzierbaren Klassen (Wasser/Straßenfläche) durch Verwendung der SAM-Scores nur geringfügig gesteigert werden konnte (Wasser von 69% auf 74%), hat sich die Klassifikationsgüte bei diesen Klassen durch die Verwendung des SAM-Score deutlich verbessert (s. Tab. 3).

Für Kupferdächer wurden drei Klassen definiert, deren Erkennungs- und Klassifikationsgüte gesteigert werden konnte. Helles, grün reflektierendes Kupfer (Kupferdach_2) ist zwar im RGB-Farbraum hinreichend genau zu charakterisieren, dennoch konnte die Klassifikationsgüte hier von 83% auf 94% gesteigert werden. Größer fällt die Verbesserung bei dunklem, verwit-

Tab. 3: Klassifikationsgüte (producer accuracy).

	RGB	RGB mit nDOM	RGB mit nDOM und SAM-Score
Dach (Bitumen)	29	26	42
Straßenfläche	20	46	76
Wasser	60	78	98
Kupferdach_1	81	79	96
Kupferdach_2	83	83	94
Kupferdach_3	29	40	75

tertem Kupfer (Kupferdach_3) auf, das analog zur Klasse „Wasser“ durch eine Definition im RGB-Farbraum, selbst unter Verwendung eines nDOM, nicht die Genauigkeiten erreicht, die durch die Verwendung der hyperspektralen Zusatzinformation gewährleistet wird.

6 Ausblick

Das vorgestellte Verfahren verbindet die Eigenschaften spektral und geometrisch hoch aufgelöster Bilddaten. Ein Verfahren zur segmentbasierten Fusion wurde vorgestellt und der Vorteil dieses Ansatzes durch die Untersuchung unterschiedlicher Klassifikationsvarianten nachgewiesen. Eine weitere Automatisierung einzelner Prozessschritte analog der automatisierten SAM-Score Generierung wird angestrebt. Hierzu zählen neben einer automatisierten, segmentbasierten Endmemberselektion die Einbeziehung von numerischen Merkmalen (Ratios, s. SEGL et al. 2003), welche aus den hyperspektralen Bilddaten abgeleitet werden können.

Das vorgestellte Verfahren ist in hohem Maße abhängig von der geometrischen Genauigkeit der einzelnen Bilddaten. Liegen Bilddaten vor, die tatsächlich koregistriert wurden, lässt sich die Genauigkeit des hier vorgestellten Ansatzes weiter steigern. In Zukunft werden erste Systeme operabel sein, die Verfügbarkeit von spektral und

geometrisch hoch auflösenden multisensoralen Datensätzen für ein beliebiges Untersuchungsgebiet verbessern, da die flugzeuggetragenen Sensoren koregistrierend montiert werden können. Ein Beispiel für ein bereits operables System ist die Kombination aus Hymap und Multispektralkamera „Redlake Mega Plus MS3100“, denkbar ist in Zukunft die Kombination von ARES (s. KAUFMANN et al. 2003) und Zeilensensoren wie der HRSC oder der ADS.

7 Danksagung

Für die Ermöglichung der Teilnahme an der HyEurope 2003 Kampagne sei an erster Stelle ANDREAS MÜLLER vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) gedankt. Weiterer Dank gilt STEFANIE HOLZWARTH (DLR) und DANIEL SCHLÄPFER (Remote Sensing Laboratories, Zürich, Schweiz) für die Unterstützung bei der Geokodierung der Daten sowie Prof. Dr. HEIMES und RAINER BRECHTKEN für die Unterstützung im LEO 2003 Projekt.

8 Literatur

- ADLER-GOLDEN, S.M., MATTHEW, M.W., BERNSTEIN, L.S., LEVINE, R.Y., BERK, A., RICHTSMEIER, S.C., ACHARYA, P.K., ANDERSON, G.P., FELDE, G., GARDNER, J., HIKE, M., JEONG, L.S., PUKALL, B., MELLO, J., RATKOWSKI, A. & BURKE, H.-H., 1999: Atmospheric correction for short-wave spectral imagery based on MODTRAN4. – SPIE Proc. Imaging Spectrometry **3753**: 61–69.
- BAATZ, M. & SCHÄPE, A., 2000: Multiresolution Segmentation – An Optimization Approach for High Quality Multi-scale Image Segmentation. – In: STROBL, J. et al. (Hrsg.): *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII*. – Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 2000, pp. 12–23, Herbert Wichmann Verlag, Karlsruhe.
- BÄUMKER, M., BRECHTKEN, R., HEIMES, F.-J. & RICHTER, T., 1999: Direkte Georeferenzierung mit dem Luftaufnahmesystem LEO. – In: *Proceedings 10. Internationale Geodätische Woche, Obergurgl*.
- BATESON & CURTISS, 1996: A Method for manual endmember Selection and Spectral Unmixing. – *Remote Sensing and Environment* **55**: 229–243.
- BERMAN, M., KIIVERI, H., LAGERSTROM, R., ERNST, A., DUNNE, R. & HUNTINGTON, J., 2003: ICE: An automated statistical approach to identifying endmembers. – *Proc. 2003 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, Vol. 1, Toulouse, France, pages 279–283, July 2003.
- BOARDMAN, J.W., KRUSE, F.A. & GREEN, R.O., 1995: Mapping Target Signatures via Partial Unmixing of AVIRIS Data. – *Summaries, Fifth JPL Airborne Earth Science Workshop*, JPL Publication **1**: 23–26.
- GREIWE, A., BOCHOW, M. & EHLERS, M., 2003: Fusion of Multisensor Remote Sensing Data for Urban Land Cover Classification. – In: EHLERS, M. (Ed.): *Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology III*. – *Proceedings of SPIE Vol. 5239*.
- KAUFMANN, H., CHABRILLAT, S., DECH, S., HABERMEYER, M., HOLZWARTH, S., MEHL, H., MÜLLER, A., RICHTER, R. & SEGL, K., 2003: Environmental Mapping and Analysis Program Based on the Use of the Airborne Reflective Emissive Spectrometer (ARES). – In: HABERMEYER, M., MÜLLER, A. & HOLZWARTH, S. (Hrsg.): *3rd EARSeL Workshop on Imaging Spectroscopy*, 13–16 May 2003.
- LEHMANN, F., BUCHER, T., HESE, S., HOFFMANN, A., MAYER, S., OSCHÜTZ, F. & ZHANG, Y., 1998: Die Kombination von hyperspektralen HyMap-Daten und HRSC-A Multispektral und DGMdaten zur Validierung und Nutzung in verschiedenen Anwendungsgebieten. – *DGPF Jahrestagung 1998*.
- MÖLLER, M., 2003: Urbanes Umweltmonitoring mit digitalen Flugzeugscannerdaten. – 160 S., Wichmann Verlag, Heidelberg.
- PLAZA, A., MARTINEZ, P., PEREZ, R. & PLAZA, J., 2002: Spatial/Spectral Endmember Extraction by Multidimensional Morphological Operations. – *IEEE Trans. On Geoscience and Remote Sensing* **40-9**: 2025–2041.
- SCHIEWE, J. & EHLERS, M., 2004: Semantisches Potential digitaler flugzeuggestützter Fernerkundungssensoren. – *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation* **2004** (6): 463–474 (dieses Heft).
- SCHLÄPFER, D., SCHAEPMAN, M.E. & ITTEN, K.I., 1998: PARGE: Parametric Geocoding Based on GCP-Calibrated Auxiliary Data. – *SPIE International Symposium on Optical Sciences, Engineering and Instruments*, San Diego (CA).
- SCHLÄPFER, D., 2002: *PARAMetric GEocoding, UserGuide, Version 2.0*.

- SEGL, K., HEIDEN, U., MÜLLER, M. & KAUFMANN, H., 2003: Endmember Detection in Urban Environments Using Hyperspectral HyMap Data. – Proceedings of the 3rd EARSeL Workshop on Imaging Spectroscopy, 13–16 May 2003.
- WILSON, I.J. & COCKS, T.D., 2003: Development of the Airborne Reflective Emissive Spectrometer (ARES) – a Progress Report. – In: HABERMAYER, M., MÜLLER, A. & HOLZWARTH, S. (Hrsg.) 2003: 3rd EARSeL Workshop on Imaging Spectroscopy, 13–16 May 2003.
- WINTER, M. E., 1999: Fast Autonomous Spectral Endmember Determination in Hyperspectral Data. – Proceedings of the 13th International Conference on Applied Geologic Remote Sensing **II**: 337–344.
- ZHUKOV, B., OERTEL, D., BERGER, M., KAUFMANN, H. & MÜLLER, A., 1998a: Unmixing and Fusion of Multi-Sensor Multi-Resolution Data Acquired Over The Makhtesh Ramon Negev Desert. – In: RANCHIN, T. & WALD, L. (Hrsg.): Proceedings of the 2nd International Conference “Fusion of Earth Data – Merging Point Measurements, Raster Maps and Remotely Sensed Images”. Sophia Antipolis.
- ZHUKOV, B., OERTEL, D. & LANZL, F., 1998b: Unmixing and Fusion of Multi-Resolution Images with Applications to TM/Landsat and Simulated ASTER Data. – In: RANCHIN, T. & WALD, L. (Hrsg.): Proceedings of the 2nd International Conference “Fusion of Earth Data-Merging Point Measurements, Raster Maps and Remotely Sensed Images”. Sophia Antipolis.
- ZHUKOV, B., OERTEL, D., LANZL, F. & REINHÄCKEL, G., 1999: Unmixing-Based Multisensor Multiresolution Image Fusion. – IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing **37** (3): 1212–1225.

Anschriften der Autoren:

Dipl.-Umweltwiss. ANSGAR GREIWE
 Dipl.-Umweltwiss. MATHIAS BOCHOW
 Prof. Dr.-Ing. MANFRED EHLERS
 Forschungszentrum für Geoinformatik und Fernerkundung
 Universität Osnabrück
 Eichendorffweg 30, D-49377 Vechta
 Tel.: 04441-15-324/-428/-423
 e-mail: {agreiwe, mbochow, mehlers}@fzg.uni-vechta.de

Manuskript eingereicht: Juli 2004
 Angenommen: August 2004

Erhalt der spektralen Charakteristika bei der Bildfusion durch FFT basierte Filterung

MANFRED EHLERS, Osnabrück & SASCHA KLONUS, Vechta

Keywords: image transformation, intensity-hue-saturation (IHS), adaptive filter, spectral filter, pan sharpening, SPOT, Landsat

Zusammenfassung: Bildfusionen mittels *Intensity-Hue-Saturation* (IHS) oder *Principal Component* (PC) Transformation sind gängige Verfahren, um hoch auflösende panchromatische Aufnahmen in niedrig auflösende multispektrale Bilddaten zu integrieren. Diese Verfahren garantieren multispektrale Bilder mit hoher räumlicher Auflösung, können allerdings die spektralen Charakteristiken der Originaldaten verändern. In diesem Artikel wird ein neues Verfahren präsentiert, welches auf der IHS Transformation basiert, die allerdings auf gefilterten Bilddaten beruht. Zur genauen Anpassung an die vorhandene Bildinformation wird diese Filterung im Frequenzraum durchgeführt. Dadurch wird garantiert, dass die hoch auflösende panchromatische Aufnahme keine Veränderungen der spektralen Charakteristiken im Multispektralbild erzeugt. Die neu entwickelte Methode wird für die Fusion von SPOT und ETM Bilddaten exemplarisch vorgeführt und es wird ihre Überlegenheit gegenüber gebräuchlichen Verfahren wie PC, Brovey Transformation oder der multiplikativen Integration nachgewiesen. Obwohl die verwendete IHS Transformation nur für drei Spektralbereiche entwickelt wurde, kann sie nach dieser Methode auf beliebig viele Kanäle ausgedehnt werden und steht somit auch zur Verbesserung der räumlichen Auflösung von Hyperspektralbildern zur Verfügung.

Summary: *FFT based filtering for spectral characteristics preserving image fusion.* Image transforms such as the Intensity-Hue-Saturation (IHS) or Principal Component (PC) transform are widely used to fuse panchromatic images of high spatial resolution with multispectral images of lower resolution. These techniques create multispectral images of higher spatial resolution but usually at the cost that these transforms do not preserve the original color or spectral characteristics of the input image data. In this study, a new method for image fusion is presented that is based on filtering in the Fourier domain. This method preserves the spectral characteristics of the lower resolution multispectral images. In this study, SPOT panchromatic images are fused with Landsat ETM multispectral data. Comparison with existing fusion techniques such as PC, Brovey or multiplicative transform prove the superiority of the new method. While in principle based on the IHS transform (which usually only works for three bands), the method is extended to any arbitrary number of spectral bands. Using this approach, this method can be applied to sharpen hyperspectral images without changing their spectral behavior.

1 Einführung

1.1 Fusion hoch auflösender Fernerkundungsdaten

Eine Vielzahl von satelliten- und flugzeuggestützten Fernerkundungssystemen ist gegenwärtig operationell verfügbar. Die

meistgenutzten Satellitensysteme stellen derzeit die elektro-optischen Abtaster vom Typ Landsat (USA), SPOT (Frankreich) oder IRS (Indien) mit Bodenauflösungen von 5 bis 30 m dar. Jedoch liefern aktuelle hoch auflösende Satellitensysteme wie Ikonos oder QuickBird, deren Entwicklung auf die Spionagesatelliten der letzten Genera-

tion zurückgehen, Bodenaufösungen bis zu 0,60 m (schwarzweiß) und 2,50 m (multispektral) und ermöglichen damit erstmals Anwendungen in urbanen Regionen (EHLERS 2004a). Höchst auflösende Flugzeugsensoren mit Bodenpixelgrößen im cm-Bereich fordern das klassische Luftbild heraus (SCHIEWE & EHLERS 2004). Allen diesen Sensoren ist allerdings gemein, dass die höchste räumliche Auflösung nur im panchromatischen Modus erzeugt werden kann. Das Verhältnis zwischen der hoch auflösenden panchromatischen und der niedriger auflösenden multispektralen Aufnahme liegt dabei zwischen 1:2 und 1:8. Um hoch auflösende Multispektralbilder zu erzeugen, werden üblicherweise Methoden der Bildfusion eingesetzt.

Fusionstechniken in der Fernerkundung werden generell in drei Klassen eingeteilt: Pixelbasiert (ikonisch), Feature basiert (symbolisch) und wissensbasiert (POHL und VAN GENDEREN 1998). Von größter Bedeutung für die Fernerkundung ist die ikonische Bildfusion, für die viele verschiedene Methoden entwickelt wurden (siehe z. B. CLICHE et al. 1985, PRICE 1987, WELCH & EHLERS 1988, WALD et al. 1997, ZHANG 1997). Es erweist sich allerdings, dass die existierenden Methoden nicht ausreichen, um die hoch auflösenden Bildinformationen verlustfrei in die multispektralen Bilddaten zu integrieren. Dabei stellen Farbveränderungen des integrierten Bildes gegenüber dem Originalmultispektralbild das größte Problem dar (ZHANG 2002). Diese Probleme werden noch verstärkt, wenn multisensorale Bilddaten fusioniert werden sollen (EHLERS 2004b).

1.2 Ikonische Bildfusion

Ikonische Bildfusionstechniken lassen sich in drei Gruppen einteilen: (1) Farb-Transformationen, (2) statistische Methoden und (3) numerische Methoden. Die erste Gruppe transformiert ein Bild aus dem „normalen“ RGB-Raum in einen anderen Farbraum. Dazu gehören die Intensity-Hue-Saturation (IHS) oder die Hue-Saturation-Value (HSV) Transformationen. Die IHS-Transforma-

tion generiert aus den RGB-Farbkanälen eine neue Darstellung als Intensität, Farbwert und Sättigungswert. Die Intensitätskomponente wird durch das hoch auflösende panchromatische Bild ersetzt, das fusionierte IHS-Bild danach in den Originalfarbraum zurück transformiert (WELCH & EHLERS 1987). Die IHS-Transformation zum Verbessern der Bildschärfe ist eine der gebräuchlichsten in der Fernerkundung (siehe zum Beispiel CARPER et al. 1990, EHLERS 1991, SMARA et al. 1996 oder YILDIMI et al. 1996). Ähnliche Ergebnisse lassen sich auch mit der HSV-Transformation erreichen.

Statistische Techniken erweitern die Anzahl gleichzeitig zu bearbeitender Kanäle. Die häufigste Methode ist die Hauptkomponententransformation (*principal component transform-PC*). Diese Transformation erzeugt einen Merkmalsraum, in dem die Farbkanäle keine Korrelation mehr aufweisen (RICHARDS & JIA 1999). Die neuen Kanäle werden in absteigender Reihenfolge ihrer Eigenvektoren organisiert, sodass der Informationsgehalt der ersten Hauptkomponenten am größten ist. Die erste Hauptkomponente wird dann – analog zur IHS-Fusion – durch das hoch auflösende panchromatische Bild ersetzt, danach überführt eine inverse Hauptkomponenten-Transformation das fusionierte Bild zurück in den Originalbildraum (RICHARDS 1984, SINGH & HARRISON 1985, FUNG & LEDREW 1987, CHAVEZ et al. 1991, SHETTIGARA 1992).

Die dritte Gruppe der Fusionstechniken sind numerische Verfahren. Dabei werden die panchromatischen Bilddaten zu den multispektralen addiert bzw. mit ihnen multipliziert (CLICHE et al. 1985, WELCH & EHLERS 1987). Dabei können zusätzlich Wichtungs- und Skalierungsfaktoren eingesetzt werden (CARPER et al. 1990, EHLERS 1991, MUNECHIKA et al. 1993, PELLEMANS et al. 1993). Die vielfach angewendete *Brovey Transform* (HALLADA & COX 1983) verwendet eine Kombination von Divisions-, Normierungs- und Multiplikationsverfahren zur Verbesserung der Bildschärfe (EYERS et al. 1998, JURIO & VAN ZUIDAM 1998). Die Nutzung von Wavelets (MALLAT 1989) zur Dekomposition von Bilddaten und auflö-

sungsangepasster Bildfusion wird von RAN-CHIN & WALD (1993), LI et al. (1995), ZHOU et al. (1998) sowie SHI et al. (2003) vorgeschlagen.

2 Spektralwert erhaltende Bildfusion

2.1 Methodengrundlagen

Die Grundidee zur Spektralwert erhaltenen Bildfusion ist, dass das hoch auflösende panchromatische Bild zwar das Farbbild schärfen soll, dabei aber keine zusätzliche spektrale Information liefern darf. Als Fusionsmethode findet die IHS Transformation Anwendung, da sie die Farbwerte in der Transformation isoliert (*hue value*). Vor dem eigentlichen Fusionsprozess werden Verfahren zur Bildfilterung verwendet. Diese Verfahren erlauben Entwurf und Einsatz angepasster Filter zur Verhinderung von Farbverschiebungen. Eine ideale Fusion würde nur die hochfrequenten Anteile des hoch auflösenden Bildes (Kanten, kleinskalige Objektänderungen etc.) berücksichtigen, aber nicht seine tatsächlichen Grauwerte. Dieses kann durch eine bildangepasste Hochpassfilterung erreicht werden. Dazu ist die Kenntnis der Verteilung der Bildinformation über die Ortsfrequenzen notwendig. Zur Bestimmung dieser Verteilung werden zweidimensionale Fouriertransformationen eingesetzt, die die Bilddaten aus dem Ortsraum in den Frequenzraum (Intensitäts- und Phasenspektrum) überführen (GONZALES & WOODS 2001). Das Intensitätsspektrum liefert die Verteilung der Bildinformation in Abhängigkeit von den Ortsfrequenzen und erlaubt somit den Entwurf bildangepasster Filter (EHLERS et al. 1984).

2.2 FFT basierte IHS Fusion

2.2.1 Bilddaten

Die für die Methodenentwicklung verwendeten Bilddaten bestehen aus einer panchromatischen SPOT Aufnahme vom 16. März 2003 mit 5 m Pixelgröße und einer multispektralen Landsat ETM Aufnahme (Kanä-

le 1–5 und 7) vom 26. Juni 2001 mit 30 m Auflösung. Ein 512×512 Pixel großer auf Gauß-Krüger Koordinaten entzerrter Ausschnitt des SPOT Bildes zeigt den Norden von Aachen (Abb. 1). Die Landsat ETM Aufnahme (Abb. 2 und 3) wurden direkt auf das georeferenzierte SPOT Bild entzerrt und dabei ebenfalls auf 5 m Pixelgröße reformatiert. Das Resampling wurde mittels bikubischer Faltung durchgeführt, eine Methode,



Abb. 1: Panchromatische SPOT Aufnahme vom 16. März 2003 mit 5 m Pixelgröße.

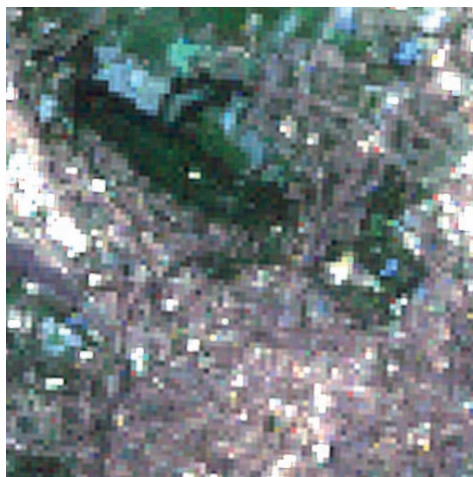


Abb. 2: Landsat ETM Bild (Echtfarbendarstellung) vom 26. Juni 2001, entzerrt auf die SPOT-Aufnahme und auf 5 m Pixelgröße formatiert.

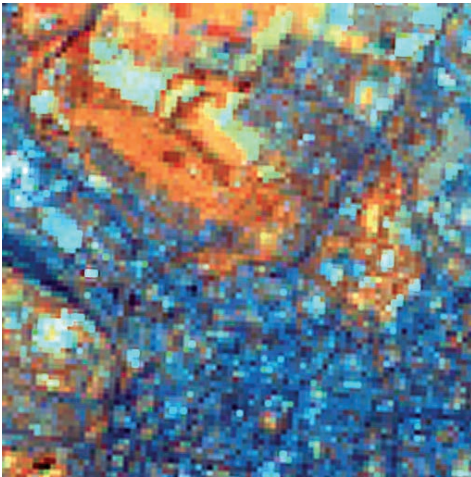


Abb. 3: Landsat ETM Aufnahme, Falschfarbendarstellung mit den Kanälen 4 (rot), 5 (grün), 7 (blau).

die die besten Ergebnisse bei der nachfolgenden Bildfusion garantiert (EHLERS 1991). Die Entzerrungsgenauigkeit (*Root-Mean-Square Error*) lag bei $\pm 7.5\text{m}$.

2.2.2 Methodenbeschreibung

Eine Übersicht über die entwickelte Methode geben die Abb. 4a und 4b. Der erste Schritt besteht in der Transformation der multispektralen Aufnahme in den IHS Raum. Dazu werden jeweils drei Kanäle der Multispektralaufnahme selektiert und IHS transformiert. Bei der Landsat ETM Aufnahme werden in zwei getrennten Transformationen die Kanäle 1, 2 und 3 sowie die Kanäle 4, 5 und 7 in den IHS Raum überführt. Abb. 5 zeigt die Intensitätskomponente für die ETM Transformation mit den Kanälen 1, 2 und 3.

Im nächsten Schritt gilt es, den Grauwertbereich des SPOT-Bildes an den der Intensitäts-Komponente anzupassen. Im vorliegenden Beispiel liegt die Intensität im Wertebereich $[0,1]$ vor. Daher reicht es, die 8-bit kodierten panchromatischen SPOT-Grauwerte durch 255 zu dividieren. Die normierten Bilddaten werden durch eine zweidimensionale *Fast Fourier Transform* (FFT) in den

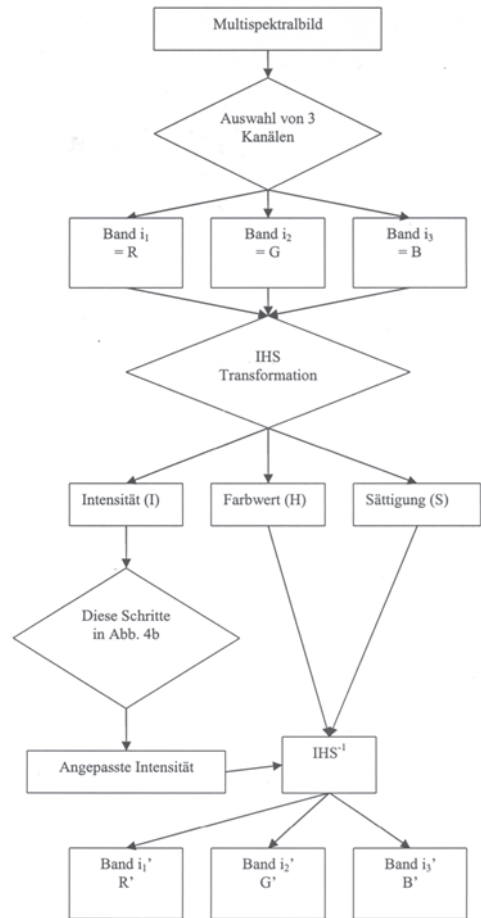


Abb. 4a: FFT basierte Filterung zur Bildfusion mit 3 multispektralen Kanälen i_1, i_2, i_3 (Teil 1).

Frequenzraum überführt. Die Analyse des Powerspektrums dient zum Entwurf der isotropen Hoch- bzw. Tiefpassfilter. Dabei wird die hochfrequente Information aus dem panchromatischen SPOT Bild und die niederfrequente Information aus dem ETM-Bild herausgefiltert.

Zum Filterentwurf für die Intensitätskomponente des multispektralen Bildes kann zunächst davon ausgegangen werden, dass alle Informationen in den Frequenzbändern oberhalb einer gewissen Grenzfrequenz nur künstlich erzeugt wurden. Das Reformatieren auf die Pixelgröße des panchromatischen Bildes erzeugt eine artifi-

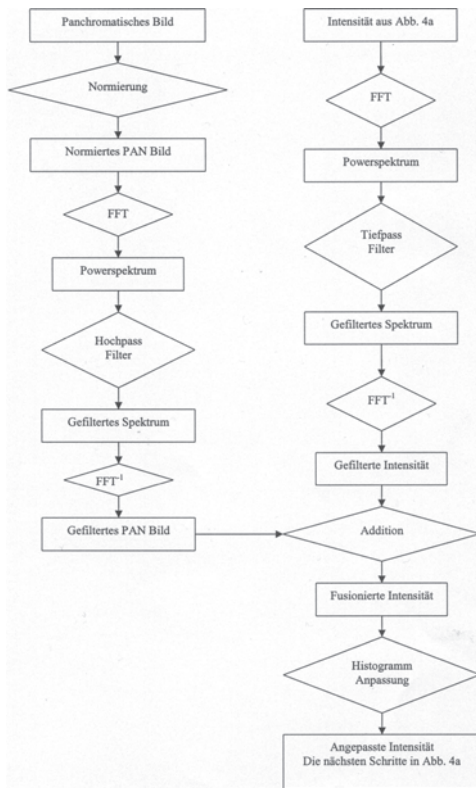


Abb. 4b: FFT basierte Filterung zur Bildfusion (Teil 2).

zielle Erhöhung der räumlichen Auflösung, die keine echte Informationsverdichtung darstellt. Diese Frequenz lässt sich anhand des Verhältnisses der Bodenauflösung beider Bilder bestimmen. Im vorliegenden Fall wird ein Landsat TM Pixel von 30 m auf 5 m formatiert, das Verhältnis beträgt demnach 1:6. Damit besitzen alle Frequenzen oberhalb von $n = 85$ keine echten Informationen und können herausgefiltert werden.

Zur optimalen Filterbandselektion müssen Tests mit variablen Filterbreiten vorgenommen werden. Idealerweise wirken die Filter genau entgegengesetzt, d. h. der Tiefpassfilter für die multispektrale Komponente filtert genau die Frequenzen heraus, die beim Hochpassfilter des panchromatischen Bildes durchgelassen werden. Die Filterung wird im Frequenzraum durch Multiplikation mit den isotropen Filtern durchgeführt. Um das Problem des Gibb'schen Phänomens (Oszillationen im Ortsbereich bei Rechteckfilterung) zu vermeiden, werden die Filter durch ein Hanning Fenster geglättet und es wird ein geringer Überlappungsbereich akzeptiert. Optimale Ergebnisse werden im vorliegenden Beispiel durch eine Hochpassfilterung ab der Ortsfrequenz $n = 16$ und einer entsprechenden Tiefpass-

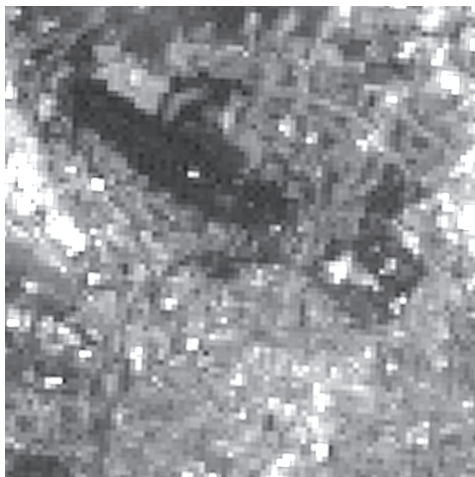


Abb. 5: Intensitätskomponente des Landsat ETM Bildes (IHS transformiert mit den Kanälen 1, 2 und 3).

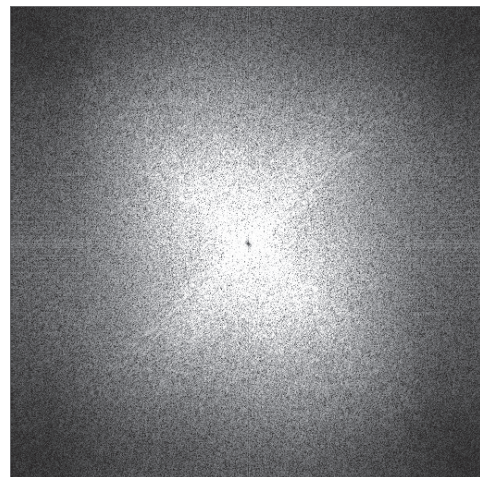


Abb. 6: SPOT Intensitätsspektrum nach Hochpass Filterung im Frequenzraum. (Hanning Filter mit einer *cut-off* Frequenz von $n = 16$).

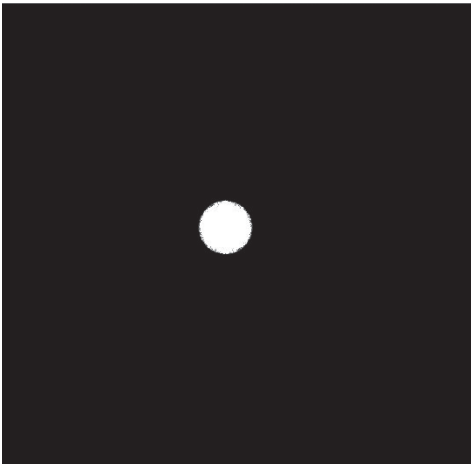


Abb. 7: Tiefpass gefiltertes Spektrum der Intensitätskomponente des Landsat ETM Bildes (Hanning Filter mit einer *cut-off* Frequenz von $n = 32$).

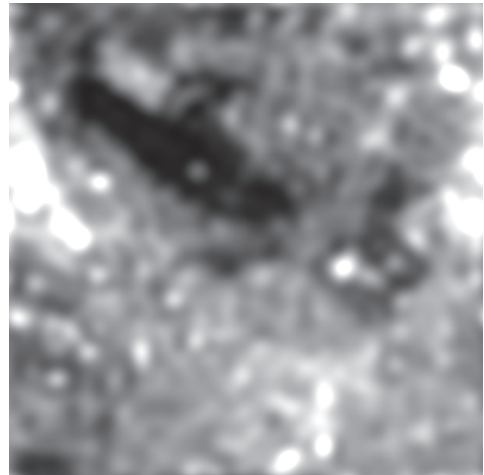


Abb. 9: Tiefpass gefilterte Intensitätskomponente des Landsat ETM Bildes nach der inversen FFT.



Abb. 8: Hochpass gefiltertes SPOT Bild nach der inversen FFT.



Abb. 10: Fusionierte SPOT/ETM Intensitätskomponente nach der Histogramm Anpassung.

filterung bis zur Ortsfrequenz $n = 32$ erzielt. Abb. 6 zeigt das gefilterte Spektrum des panchromatischen SPOT Bildes, Abb. 7 das der gefilterten Intensitätskomponente des ETM Bildes.

Nach der Filterung im Frequenzraum werden die Bilddaten durch eine inverse FFT in den Ortsraum zurücktransformiert (Abb. 8 und 9). Danach werden die gefilterten Bilder addiert, sodass der hochfrequente

Anteil des hoch auflösenden Bildes in den niederfrequenten Anteil der niedrig auflösenden Aufnahme integriert wird. Am Schluss erfolgt eine Histogrammanpassung der fusionierte Komponente an die ursprüngliche Intensitätskomponente des Multispektralbildes, um eine optimale Grauwertanpassung zu gewährleisten (Abb. 10).

Aus der fusionierten Intensitätskomponente und den ursprünglichen Farbwert-



Abb. 11: SPOT/ETM IHS Bildfusion nach FFT basierter Filterung: Ergebnisse für die Kanäle 1, 2, 3 (Echtfarben Bild).

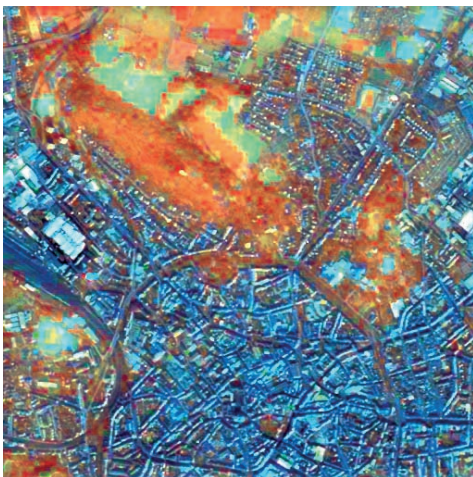


Abb. 12: SPOT/ETM IHS Bildfusion nach FFT basierter Filterung: Ergebnisse für die Kanäle 4, 5, 7 (Infrarot Bild).

und Sättigungswert-Komponenten des Multispektralbildes wird ein neues IHS Bild erzeugt. Dieses wird dann über eine inverse IHS Transformation zurück in ein RGB Bild umgewandelt, welches nun die hohe Auflösung des panchromatischen Bildes und die spektralen Charakteristika des multispektralen Bildes enthält.

Sofern mehr als drei Kanäle im Multispektralbild vorhanden sind, werden sukzessive jeweils drei der Kanäle ausgewählt und wie oben beschrieben mit den panchromatischen Daten fusioniert. Anschließend werden alle Kanäle zu einem vollständigen neuen multispektralen Bild zusammengefügt, welches wieder alle ursprünglichen Kanäle (mit entsprechender Verbesserung der räumlichen Auflösung) enthält. Es wird daher möglich sein, auf diese Weise auch Hyperspektraldaten durch Integration mit hoch auflösenden Aufnahme zu „schärfen“, ohne dass die spektrale Information verändert wird. Abb. 11 und 12 zeigen die Ergebnisse der IHS Fusion von SPOT und ETM Daten nach der FFT basierten Bildfilterung. Deutlich ist bereits bei der visuellen Analyse zu erkennen, dass die Farbinformation aus dem Landsat Bild (siehe Abb. 2 und 3) unverändert aussieht, das Bild aber durch die Integration der gefilterten SPOT Daten eine entsprechend verbesserte räumliche Auflösung erhalten hat.

Für weitere Analysen der Ergebnisse wird die neue Methode mit Standard Fusions-Algorithmen verglichen.

2.2.3 Vergleich mit Standardverfahren der Bildverarbeitung

Alle vorgestellten Analysen wurden mit der Software ERDAS Imagine durchgeführt. Daher werden ebenfalls die Datenfusionsmethoden von ERDAS für den Vergleich mit der neu entwickelten Methode herangezogen. ERDAS bietet hierzu das Modul „Resolution Merge“ an, welches drei verschiedene Methoden enthält:

- *Principal Component (PC)*
- *Multiplicative*
- *Brovey Transform*

Diese drei Standardmethoden werden mit den gleichen Datensätzen benutzt, die für die vorgestellte Methode verwendet wurden. Die Ergebnisse werden in den Abb. 13 bis 18 präsentiert. Es ist leicht zu erkennen, dass die PC Methode im Ergebnis die spektralen Informationen stark verändert, was besonders in der Kombination der Kanäle 4, 5 und



Abb. 13: Bildfusion durch *Principal Component* (PC): Kanäle 1, 2, 3 (Echtfarben Bild).



Abb. 15: Bildfusion durch Brovey Transformation: Kanäle 1, 2, 3 (Echtfarben Bild).

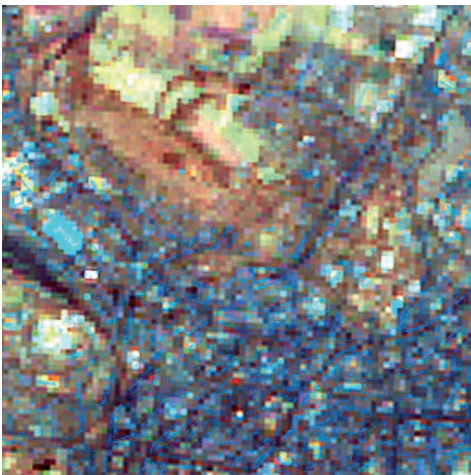


Abb. 14: Bildfusion durch PC: Kanäle 4, 5, 7 (Infrarot Bild).



Abb. 16: Bildfusion durch Brovey Transformation: Kanäle 4, 5, 7 (Infrarot Bild).

7 evident wird (Abb. 14). Erstaunlicherweise ist auch von einer Verbesserung der räumlichen Auflösung in dieser Farbkombination kaum etwas zu merken. Der Grund dürfte in der rein statistisch wirkenden Transformation liegen, die im Gegensatz zur IHS Transformation keine Trennung von spektraler und räumlicher Information erlaubt.

Für alle Standardverfahren gilt, dass die Farbwerte nach der Fusion z.T. erhebliche

Abweichungen von den Originalfarbwerten aufweisen. Dies wird z. B. an den Feldern nördlich des Waldgebietes deutlich. Auch die räumliche Auflösung stellt sich nach der FFT basierten Filterung besser dar. Dieses kann man z. B. an den Gebäuden im Osten, nördlich des Stadions, sehr gut erkennen. Sie wirken auf Abb. 11 durch die Farbintegration sogar besser aufgelöst als im panchromatischen SPOT Bild. Einzig die Brovey Transformation erreicht eine ähnlich hohe



Abb. 17: Bildfusion durch *Multiplicative Merge*: Kanäle 1, 2, 3 (Echtfarben Bild).

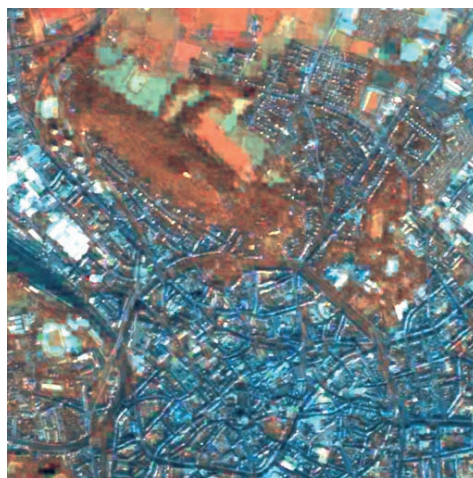


Abb. 18: Bildfusion durch *Multiplicative Merge*: Kanäle 4, 5, 7 (Infrarot Bild).

räumliche Auflösung. Die Farbwerte werden allerdings auch hier verändert, wie insbesondere bei den Infrarotkanälen (4, 5, 7) ersichtlich wird (Abb. 16). Dass die multiplikative Fusion deutlich schlechtere Farbkontraste erzeugt, ist zu erwarten, da durch die gleichartige Integration der panchromatischen Information in *jeden* Kanal die spektrale Korrelation zwischen den Kanälen erhöht wird und dadurch die Farben zwangsläufig „blasser“ werden müssen.

Zum weiteren Genauigkeitsvergleich betrachten wir die Statistiken vor und nach der Bildfusion, um die Qualität der Fusionsmethoden auch quantitativ abschätzen zu können. Dabei interessieren insbesondere die Werte für Mittel- und Medianwert innerhalb der Kanäle sowie die Standardabweichun-

gen der Grauwerte. Tab. 1 und 2 zeigen beispielhaft die statistischen Werte für die Kanäle 1 und 4 nach der jeweiligen SPOT/ETM Bildfusion.

Einzig die FFT Filter IHS Fusion liegt mit den erzielten Werten sehr nahe an den Originalwerten. Zwar sind leichte Abweichungen bei minimalen und maximalen Grauwerten vorhanden, aber Mittel- und Medianwert sind fast identisch zum Original. Auch die Standardabweichung weist nur kleine Abweichungen (< 2 Grauwerte) auf. Die nächstbesten Ergebnisse werden von der *Principal Component* Fusion erzielt, hier liegen die Abweichungen bei Mittel- und Medianwert allerdings bereits zwischen 10 und 20 Grauwerten. Völlig aus der Reihe liegt die multiplikative Fusion, was darauf

Tab. 1: Histogramm Werte, Kanal 1.

Bild	Minimum	Maximum	Mittelwert	Median	Standardabweichung
Original	64	254	86,153	85	11,068
FFT Filter IHS Fusion	31,721	245,61	85,854	84,248	12,988
Brovey Transformation	5,3122	55,874	13,663	12,027	4,404
<i>Principal Component</i> Fusion	44	257	75,023	72,289	11,404
Multiplikative Fusion	2178	64770	6264,414	5356,5	2807,834

Tab. 2: Histogramm Werte, Kanal 4.

Bild	Minimum	Maximum	Mittelwert	Median	Standardabweichung
Original	18	168	69,510	66	22,818
FFT Filter IHS Fusion	0	218,58	68,936	65,743	21,644
Brovoy Transformation	3,04	60,428	10,074	9,5409	3,101
Principal Component Fusion	-59	222	87,110	86,988	19,777
Multiplikative Fusion	846	37740	4844,87	4593	1902,803

beruht, dass die Werte nicht in den ursprünglichen Grauwertbereich zurück transformiert werden. Aber auch nach Rücktransformation in den Bereich [0,255] weisen alle Werte dieser Fusionstechnik hohe Abweichungen von den Originalgrauwerten auf.

3 Ausblick

Die Spektralwert erhaltende Bildfusion soll an weiteren Beispielen intensiv untersucht und weiterentwickelt werden. Erste Untersuchungen zeigen, dass diese Technik auch bei der Fusion von hyperspektralen und höchstauflösenden Flugzeugsensoren gute Ergebnisse liefert (EHLERS et al. 2004). Als weitere Bildfusionstechnik soll die *wavelet* Transformation in die nächsten Analysen einbezogen werden (NA et al. 2004). Weitere quantitative Vergleiche mittels Bildprofilen sind ebenfalls in Arbeit. Der Filterentwurf soll möglichst automatisiert werden. Dazu sind umfangreiche Testreihen mit multispektralen und hyperspektralen Bilddaten vorgesehen. Ausgehend von den erzielten Ergebnissen soll eine *Flowchart* basierte Toolbox entwickelt werden, die es dem Gelegenheitsnutzer ermöglichen soll, Standardwerte abzurufen bzw. Änderungen interaktiv einzubringen. Erste Schritte als Integration in den ERDAS *Modeler* zeigen bereits ermutigende Ergebnisse.

4 Literatur

CARPER, W.J., LILLESAND, T.M. & KIEFER, R. W., 1990: The use of Intensity-Hue-Saturation

transformations for merging SPOT panchromatic and multispectral image data. – Photogrammetric Engineering and Remote Sensing **56**: 459–467.

- CHAVEZ, P.S., SIDES, S.C. & ANDERSON, J.A., 1991: Comparison of three different methods to merge multiresolution and multispectral data: TM & SPOT pan. – Photogrammetric Engineering and Remote Sensing **57**: 295–303.
- CLICHE, G., BONN, F. & TEILLET, P., 1985: Integration of the SPOT Pan channel into its multispectral mode for image sharpness enhancement. – Photogrammetric Engineering and Remote Sensing **51**: 311–316.
- EHLERS, M., 1991: Multisensor image fusion techniques in remote sensing. – ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing **46**: 19–30.
- EHLERS, M., 2004a: Remote Sensing for GIS Applications: New Sensors and Analysis Methods. – In: EHLERS, M., KAUFMANN, H.J. & MICHEL, U. (Eds.): Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology III. – Proceedings of SPIE Vol. 5239, p. 1–13, Bellingham, WA.
- EHLERS, M., 2004b: Spectral Characteristics Preserving Image Fusion Based on Fourier Domain Filtering. – In: EHLERS, M., KAUFMANN, H.J. & MICHEL, U. (Eds.): Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology IV. – Proceedings of SPIE, Bellingham, WA (accepted for publication).
- EHLERS, M., DENNERT-MÖLLER, E., KOLOUCH, D. & LOHMANN, P., 1984: Non-Recursive Filter Techniques in Digital Processing of Remote Sensing Data. – Proceedings of the XVth International Congress of ISPRS. Rio de Janeiro, Brazil, IAPRS XXV/A7, pp. 163–175.
- EHLERS, M., KLONUS, S., ADEN, C., BAST, H., BUCHHOLZ, T., KREUTZER, T. & LOESEWITZ, L., 2004: IHS Transform revisited: Spectral Characteristics Preserving Data fusion Based on Fourier Domain Filtering. – Proceedings, 1st

- Göttingen GIS and Remote Sensing Days "Environmental Studies", Göttingen (accepted for publication).
- EYERS, R., MOORE, J., HERVAS, I. & LIU, J.G., 1998: Integrated use of Landsat TM and SPOT panchromatic imagery for landslide mapping: case histories from Southeast Spain. – *Geohazards in Engineering Geology*, Geological Society Special Publication **15**: 133–140.
- FUNG, T. & LEDREW, E., 1987: Application of Principal Component Analysis to change detection. – *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* **53**: 1649–1658.
- GONZALEZ, R.C. & WOODS, R.E., 2001: *Digital Image Processing*. – 793 pp., Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.
- HALLADA, W.A. & COX, S., 1983: Image sharpening for mixed spatial and spectral resolution satellite systems. – *Proc. of the 17th International Symposium on Remote Sensing of Environment*, 9–13 May, pp. 1023–1032.
- JURIO, E.M. & VAN ZUIDAM, R.A., 1998: Remote sensing, synergism and geographical information system for desertification analysis: An example from northwest Patagonia, Argentina. – *ITC Journal* **3-4**: 209–217.
- LI, H., MANJUNATH, B.S. & MITRA, S.K., 1995: Multisensor image fusion using the wavelet transform. – *Graphical Models and Image Processing* **57** (3): 235–245.
- MALLAT, S.G., 1989: A theory for multiresolution signal decomposition: The wavelet model. – *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* **11**: 674–693.
- MUNECHIKA, C.K., WARNICK, J.S., SALVAGGIO, C. & SCHOTT, J.R., 1993: Resolution enhancement of multispectral image data to improve classification accuracy. – *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* **59**: 67–72.
- NA, Y., EHLERS, M. & YANG, W., 2004: Imaging Mechanism Based Remote Sensing Image Fusion with Multi-Wavelet Transform. – *Proceedings, International Conference on Signal Processing (ICSP'04)*: 2190–2194, Beijing.
- PELLEMANS, A.H.J.M., JORDANS, R.W.L. & ALLEWIJN, R., 1993: Merging multispectral and panchromatic SPOT images with respect to the radiometric properties of the sensor. – *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* **59**: 81–87.
- POHL, C. & VAN GENDEREN, J.L., 1998: Multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications. – *Int. J. Remote Sensing* **19**: 823–854.
- RANCHIN, T. & WALD, L., 1993: The wavelet transform for the analysis of remotely sensed images. – *International Journal of Remote Sensing* **14**: 615–619.
- RICHARDS, J.A., 1984: Thematic mapping from multitemporal image data using the principal component transformation. – *Remote Sensing of Environment* **16**: 35–46.
- RICHARDS, J.A. & JIA, X., 1999: *Remote Sensing Digital Image Analysis*. – 3rd edition, 363 pp., Springer Verlag Berlin Heidelberg New York.
- SCHIEWE, J. & EHLERS, M., 2004: Semantisches Potenzial digitaler flugzeuggestützter Fernerkundungssensoren. – *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation* **2004** (6): 463–474 (dieses Heft).
- SHETTIGARA, V.K., 1992: A generalized component substitution technique for spatial enhancement of multispectral images using a higher resolution data set. – *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* **58**: 561–567.
- SHI, W.Z., ZHU, C.Q., ZHU, C.Y. & YANG, X.M., 2003: Multi-band wavelet for fusing SPOT panchromatic image and multi-spectral TM images. – *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* **69** (5): 513–520.
- SINGH, A. & HARRISON, A., 1985: Standardized principal components. – *International Journal of Remote Sensing* **6**: 883–396.
- SMARA, Y., BELHADJ-AISSA, A. & SANSAL, B., 1996: Decorrelation and IHS color transforms applied for multisource satellite images integration. – *Fusion of Earth Data, Proceedings EARSeL Conference, Cannes, France, 6–8 February 1996* (Paris: European Space Agency), pp. 107–112.
- WALD, L., RANCHIN, T. & MAGOLINI, M., 1997: Fusion of satellite images of different spatial resolutions: Assessing the quality of resulting images. – *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* **63** (6): 691–699.
- WELCH, R. & EHLERS, M., 1987: Merging multi-resolution SPOT HRV and Landsat TM data. – *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* **53**: 301–303.
- WELCH, R. & EHLERS, M., 1988: Cartographic feature extraction from integrated SIR-B and Landsat TM images. – *International Journal of Remote Sensing* **9**: 873–889.
- YILDIRIM, H., ALPARSTAN, E. & OZEL, M.E., 1996: Data fusion of sharpened difference image by IHS transform. – *Fusion of Earth Data Proceedings EARSeL Conference, Cannes, France, 6–8 February 1996* (Paris: European Space Agency), pp. 125–130.
- ZHANG, Y., 1997: Information system for monitoring urban environment based on satellite remote sensing: Shanghai as an example. – *Pro-*

- ceedings of the International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS'97), Singapore, 3–8 August 1997 (Piscataway, NJ: IEEE).
- ZHANG, Y., 2002: Automatic image fusion: A new sharpening technique for IKONOS multispectral images. – *GIM International* **16** (5): 54–57.
- ZHOU, J., CIVCO, D.L. & SILANDER, J.A., 1998: A wavelet transform method to merge Landsat TM and SPOT panchromatic data. – *Int. J. Remote Sensing* **19** (4): 743–757.
- Anschrift der Autoren:
Prof. Dr.-Ing. MANFRED EHLERS
Forschungszentrum Geoinformatik und Fernerkundung (FZG)
Universität Osnabrück
Postfach 15 53, Eichendorffweg 30
49364 Vechta
e-mail: mehlens@fzg.uni-vechta.de
cand. rer. nat. SASCHA KLONUS
Hochschule Vechta

Manuskript eingereicht: Juli 2004

Angenommen: August 2004

Pauli- und Cloude-Dekompositionstheoreme zur Extraktion des Streuverhaltens landwirtschaftlicher Nutzflächen aus vollpolarimetrischen E-SAR Daten

PIA LIEBESKIND, TANJA RIEDEL & CHRISTIANE C. SCHMULLIUS, Jena

Keywords: remote sensing, polarimetry, target decomposition, agriculture, backscattering behavior

Zusammenfassung: Das Ziel dieser Untersuchung ist, das polarimetrische Streuverhalten ausgewählter Landnutzungen durch Zerlegung der SAR-Rückstreuung in elementare Streumechanismen zu bestimmen. Die Ergebnisse zweier Methoden der Zielzerlegung wurden für drei verschiedene Zeitpunkte der Datenaufnahme analysiert sowie miteinander verglichen. Die Daten wurden im polarimetrischen L-Band aufgezeichnet.

Mit der Ausbildung der Vegetationsstrukturen wurde eine Zunahme der Volumen- und *double bounce*-Streuanteile sowie ein stärkerer Einfluss der sekundären Streuprozesse festgestellt. Der auf unbedeckten Feldern dominante Anteil der Oberflächenstreuung nimmt hingegen mit dem Wachstum der Pflanzen ab. Die Anteile der Streumechanismen einiger Feldfrüchte werden hauptsächlich durch den Einfluss des lokalen Einfallswinkels bestimmt.

Summary: *Pauli- and Cloude-target decomposition theorems for extracting of agriculture fields' backscattering behaviour of polarimetric E-SAR data.* Object of this investigation was to determine the polarimetric scattering behaviour of different types of land use through decomposition of the SAR backscattering into basic scattering mechanisms. The results of two target decomposition methods for three different data takes of polarimetric L-band were analysed and compared.

With vegetation development an increase of dipole scattering as well double bounce-interactions and a stronger influence of the secondary scattering processes was found. Vice versa the dominant portion of surface scattering on the bare fields decreases due to the growth of the plants. The various parts of the three scattering mechanisms are determined mainly through the influence of local incidence angle for several crops.

Einleitung

Eine Aufgabe der Fernerkundung ist es, umfassend und detailliert Informationen über die Objekte und Oberflächen der Erde zu erfassen. In der aktuellen Forschung nimmt dabei die Radarfernerkundung aufgrund ihrer relativen Atmosphären- und Witterungsunabhängigkeit, ihres Einsatzpotentials bei Tag und Nacht sowie in schwer zugänglichen Regionen eine bedeutende Stellung ein.

In der nachfolgend vorgestellten Arbeit soll als Teil des Forschungsprojektes TerraDew durch Zerlegung der Radarrück-

streuung in elementare Streumechanismen das Streuverhalten der Vegetation sowie unbedeckter Oberflächen untersucht werden. Die Rückstreuanteile verändern sich in Abhängigkeit von den inhärenten Eigenschaften der beleuchteten Oberflächen und Objekte, weshalb sich aus polarimetrischen Radardaten Informationen über diese Objekte ableiten lassen.

In dieser Untersuchung wird das Streuverhalten anhand polarimetrischer Parameter der Pauli- und Cloude-Dekompositionsprodukte mit statistischen Methoden analysiert. Dabei werden die abgeleiteten wirken-

den Streumechanismen *double bounce*, Volumenstreuung sowie Oberflächenstreuung bzw. ihre zur Gesamtrückstreuung beitragenden Streuanteile vergleichend für verschiedene Feldfrüchte bzw. ausgewählte Felder im Testgebiet gegenüber gestellt. Die Ergebnisse werden unter Einbeziehung raddarrückstreurelevanter Gelände- und Vegetationsmerkmale für die verschiedenen Zeitpunkte der Datenaufnahme interpretiert.

Bisher wurden mehrere Zielzerlegungsverfahren und Streumodelle außerdem mit dem Ziel entwickelt, Vegetationseigenschaften u. a. Einflussfaktoren aus Radardaten zu extrahieren. Dazu wird in dieser Arbeit mittels Regressionsanalysen weiterhin überprüft, welche Faktoren einen erkennbaren Einfluss auf die reellen Werte der polarimetrischen Parameter ausüben, um den Inversionsprozess zu vervollständigen (CLOUDE & POTTIER 1997).

1 Testgebiet und Datengrundlage

Das etwa 3 km × 3 km große Testgebiet befindet sich im Bayerischen Alpenvorland ca. 25 km südwestlich von München zwischen den Ortschaften Alling, Weßling sowie Gilching. Es ist durch ein flaches Relief gekennzeichnet und weist neben intensiv landwirtschaftlich genutzten Feldern, welche durch die Struktur einer Streifenflur geprägt sind, v.a. im Norden Wald- und Grünlandflächen auf.

Die Grundlage für die vorliegende Untersuchung bildeten voll polarimetrische, im L-Band des experimentellen SAR-Systems aufgezeichnete *single look complex* Daten in der *slant range* Geometrie vom 16.06.2000, 12:00, welche Teil der Datengrundlage des TerraDew Projektes sind, sowie vom 29.03.2000 und 26.07.2000. Für die Auswertung der Daten wurden wichtige Vegetations- und Oberflächenparameter, so u. a. die gravimetrische und volumetrische Bodenfeuchte sowie die -Rauhigkeit, die Vegetationshöhe und -Dichte verwendet, welche im Testgebiet während der Befliegungstermine erhoben wurden.

2 Stand der Forschung

2.1 Elementare Streumechanismen

Als ein Streuvorgang wird grundsätzlich die Transformation einer von der Antenne ausgesendeten in die gestreute Welle bezeichnet, wobei sich i. A. ihr Polarisationszustand ändert (HAJNSEK 2001). Bei homogenen und dichten, aber dielektrisch unterschiedlichen Medien findet die Streuung nur auf deren Grenzfläche statt, so dass in diesem Fall von einer Oberflächenstreuung gesprochen werden kann (SCHMULLIUS 1992). *Double bounce* stellt eine besondere Form der Oberflächenstreuung dar, da in diesem Fall das Radarsignal zweifach an unterschiedlich orientierten Flächen (*dipplane*) reflektiert wird. Volumenstreuungsprozesse finden statt, wenn die einzelnen Streuzentren in den unter der Oberfläche eines Mediums gelegenen Schichten nicht homogen verteilt sind bzw. unterschiedliche dielektrische Eigenschaften aufweisen. Ein Teil der ausgesendeten Wellen dringt dabei in das inhomogene Medium ein und wird an den Inhomogenitäten zurückgestreut (KREMMERS 1997).

2.2 SAR Polarimetrie

Die von SAR-Systemen beleuchteten, natürlich vorkommenden Objekte weisen in der Regel eine komplexe Geometrie sowie inhomogene Streueigenschaften auf. Dennoch werden diese als ideale Punktstreuer definiert und von benachbarten Streuern als unbeeinflusst betrachtet (JOHLIGE 1998). Zur Beschreibung von Punktzielen sowie ihrer Streueigenschaften wird die komplexe Streumatrix [S] verwendet.

$$[S] = \begin{bmatrix} S_{hh} & S_{hv} \\ S_{vh} & S_{vv} \end{bmatrix}$$

Im Falle monostatischer abbildender SAR-Systeme wird eine Symmetrisierung von [S] bewirkt: $S_{hv} = S_{vh}$ (CLOUDE 1997).

Da i. d. R. die von einem Radar aufgelöste Fläche sich aus vielen individuellen Streuern zusammensetzt, besteht die gemessene Streumatrix [S] aus der kohärenten Summe

aller individuellen $[S]_r$ -Matrizen der einzelnen Streuzentren in einer Auflösungszelle. Daraus ergibt sich bei Flächenzielen die Rückstreuintensität durch deren Mittelwert. Zur Untersuchung der Streuwirkungen statistisch verteilter Streuer wird der komplexe Streuvektor \mathbf{k} verwendet (BÖRNER 2000), mit welchem die Streumatrix alternativ dargestellt werden kann. Aus dem dreikomponentigen Streuvektor in der Pauli-Basis erhält man durch Mitteln der komplexen Elemente die polarimetrische 3×3 Kohärenz-Matrix $[T]^3$

$$[T] = \langle \mathbf{k}_p \cdot \mathbf{k}_p^* \rangle^T$$

welche die vollständige Information über die polarimetrischen Streueigenschaften eines Ziels enthält und zur quantitativen Beschreibung von Teilstreuern (CLOUDE 1997) verwendet wird.

2.3 Polarimetrische Zielzerlegung nach Pauli und Cloude

Im Ansatz der Pauli-Dekomposition wird die Streumatrix $[S]$ als eine komplexe Summe von elementaren 2×2 Matrizen dargestellt, denen deterministische Streumechanismen zugeordnet werden können.

$$[S] = a \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} + b \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix} + c \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} + d \begin{bmatrix} 0 & -i \\ i & 0 \end{bmatrix}$$

Die komplexen Amplituden a , b , c und d dienen zur Gewichtung der einzelnen Streubeiträge. Die Pauli-Matrizen können als physikalische Streueigenschaften von Objekten interpretiert werden. Der mit „ a “ multiplizierte Term zeigt isotrope Oberflächenstreuung von relativ glatten Oberflächen an, wobei $S_{hv} = S_{vh} = 0$. Die zweite Matrix steht für isotrope *double bounce*-Reflexion von sog. *dihedral*-Objekten bzw. Winkelreflektoren. Dabei werden die kopolarierten Rückstreuanteile in ihren orthogonalen Zustand invertiert: $S_{hh} = -S_{vv}$. Der dritte Term in der Pauli-Dekomposition kennzeichnet den Prozess der Vo-

lumenstreuung $2 S_{hv}$, wobei $S_{hh} = S_{vv} = 0$ (HAJNSEK 2001). Durch die Symmetrie der Streumatrix im Falle der Rückstreuung von einem reziproken Streuer ist $d = 0$, weshalb der vierte Streumechanismus nicht erscheint (RUDOLF 2000).

Die Cloude-Dekomposition zählt zu den eigenvektor-basierten Zielzerlegungsverfahren. In diesem Dekompositionsansatz wird die Diagonalform der 3×3 Kohärenzmatrix $[T]$ in eine nicht-kohärente Summe unabhängiger Kohärenz-Matrizen $[T_n]$ zerlegt.

$$[T] = \sum_{n=1}^3 \lambda_n [T_n] \\ = \lambda_1 (\mathbf{e}_1 \cdot \mathbf{e}_1^i) + \lambda_2 (\mathbf{e}_2 \cdot \mathbf{e}_2^i) + \lambda_3 (\mathbf{e}_3 \cdot \mathbf{e}_3^i)$$

Dabei stellt jede Matrix $[T_n]$ einen deterministischen Streuteil dar. Deren Gewichtung wird durch die reellen Eigenwerte $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \lambda_3 \geq 0$ gegeben, während die Eigenvektoren \mathbf{e}_n sich auf die Art des Streumechanismus beziehen. Durch Extraktion des größten Eigenwertes wird der dominante Streumechanismus bestimmt. Die Eigenvektoren der Kohärenzmatrix lassen sich durch unitäre Vektoren in allgemeiner Form mit fünf Winkeln darstellen.

$$\mathbf{k} = \begin{bmatrix} \cos(\alpha) e^{i\phi} \\ \sin(\alpha) \cos(\beta) e^{i\delta} \\ \sin(\alpha) \sin(\beta) e^{i\gamma} \end{bmatrix}$$

Der Alphawinkel identifiziert den Typ des wirkenden dominanten Streumechanismus und nimmt Werte in einem kontinuierlichen Wertebereich von 0° bis 90° an. Dem Wert von 0° entspricht dabei Oberflächenstreuung an einer isotropen Oberfläche. Bei $\alpha = 45^\circ$ findet Volumenstreuung an Dipol-Objekten statt. Geht der Wert von $\alpha > 45^\circ$ gegen 90° , finden *double bounce*-Streuprozesse an anisotropen *dihedral*-Objekten statt (CLOUDE & POTTIER 1997).

Zur Klassifikation polarimetrischer Daten wurde die Entropie H eingeführt, welche Informationen über die Anzahl der voneinander verschiedenen beteiligten Streumechanismen innerhalb einer Auflösungszelle liefert.

$$H = - \sum_{i=1}^{i=3} P_i \log_3 P_i$$

Die Entropie kann Werte im Intervall von Null, wenn nur ein einziger Streuprozess zum rückgestreuten Gesamtsignal beiträgt, bis Eins annehmen. Dann liegt eine völlige Depolarisation der einfallenden Welle vor, alle Eigenwerte sind $\neq 0$ bzw. tragen gleich stark zur Rückstreuung bei (CLOUDE & POTTIER 1995).

Um das Verhältnis der beiden kleineren Eigenwerte λ_2 und λ_3 zu bestimmen, wird die Anisotropie A eingeführt.

$$A = \frac{\lambda_2 - \lambda_3}{\lambda_2 + \lambda_3}$$

Ist die Anisotropie hoch, spielt nur der zweite Streuprozess eine Rolle, d. h. $\lambda_3 \rightarrow 0$. Eine niedrige Anisotropie hingegen bedeutet, dass auch der dritte Streumechanismus an der Rückstreuung beteiligt ist. Hohe Entropie und hohe Anisotropie entsprechen dem Vorhandensein von zwei Streumechanismen mit gleicher Wahrscheinlichkeit (LEE & POTTIER 1999).

3 Ergebnisse

Für die Auswertung wurde mit den georeferenzierten Dekompositionsprodukten eine

Signaturanalyse von definierten AOI-Flächen, welche die statistischen Streumerkmale der untersuchten Felder bzw. Pflanzen in Form der polarimetrischen Parameter repräsentieren, durchgeführt.

3.1 Saisonale Rückstreu-mechanismen in der Cloude-Dekomposition

Die in Abb.1 dargestellten Parameter der Cloude-Dekomposition werden im folgenden für drei Zeitpunkte im Zeitraum März bis Juli 2000 betrachtet. Auf den im März zumeist noch unbestandenen Feldern findet mit einem Alphawinkel von $\sim 22^\circ$ bis $\sim 33^\circ$ ausschließlich dominante Oberflächenstreuung bei einer geringen bis mittleren Entropie und Anisotropie statt. Die Mittelwerte von $>0,3$ bis $\sim 0,5$ weisen darauf hin, dass neben der Oberflächenstreuung die sekundären Streuanteile nur gering zur Gesamtrückstreuung beitragen. Für die 5–15 cm hohen Wintergetreide- sowie Grünlandfelder gibt der Alphawinkel von 35° – 39° ebenfalls dominante Oberflächenstreuung an (LIEBESKIND 2002). Nur auf den mit Winter-raps bestandenen Feldern findet mit $\alpha > 50^\circ$ *double bounce* als dominanter Streuprozess

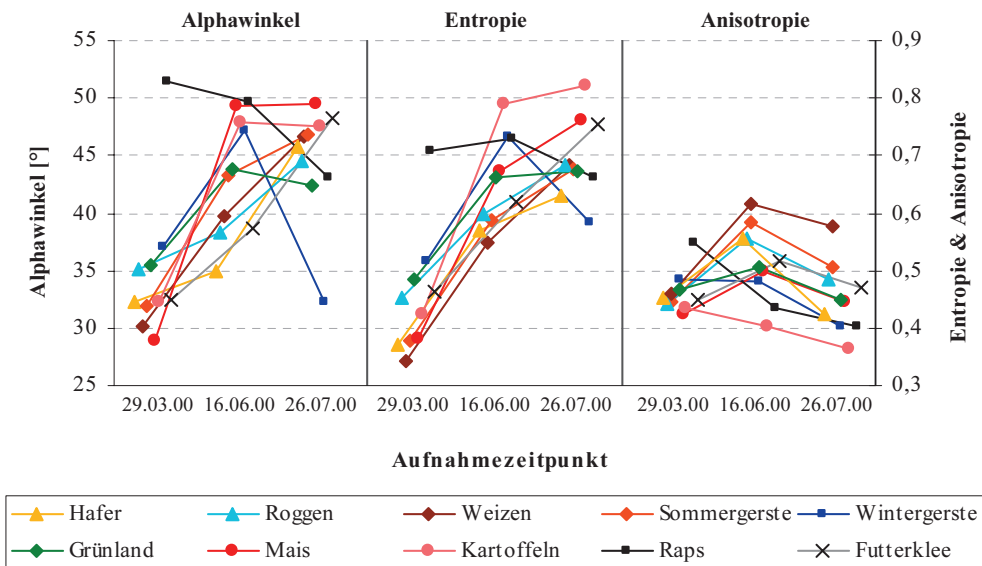


Abb. 1: Parameter der Cloude-Dekomposition für die Felder der untersuchten Feldfrüchte, gemittelt.

bei einer relativ hohen Entropie und Anisotropie statt. Beide Parameter geben an, dass auf diesen Feldern zumindest ein sekundärer Streuprozess wirksam ist.

Für die meisten untersuchten Feldfrüchte wurde mit dem Wachstum der Vegetation ein starker Anstieg des Alphawinkels und der Entropie bis Juni festgestellt. Dies weist auf einen höheren Beitrag der sekundären Streuprozesse bzw. auf eine Zunahme der Volumen- und *double bounce*-Streuteile mit Ausprägung der spezifischen Vegetationsstrukturen hin. Nach Cloude findet mit Alphawerten von $\sim 40^\circ$ bis $\sim 50^\circ$ im Juni vorwiegend dominante Volumenstreuung statt, welche durch das Vegetationsvolumen hervorgerufen wird. Die mittlere bis hohe Entropie von $> 0,5$ bis $\sim 0,8$ deutet darauf hin, dass mindestens ein zweiter Streumechanismus an den Rückstrevorgängen beteiligt ist. Nur für wenige Felder gibt $\alpha \geq 50^\circ$ dominante *double bounce*-Interaktion an. Dies betrifft insbesondere Mais und Raps, aber auch einige im *near range* gelegene Getreidefelder. Auf Roggen-, Weizen- und Haferfeldern im *far range* trägt hingegen Oberflächenstreuung den stärksten Anteil zur Radarrückstreuung bei (LIEBESKIND 2002).

Mit Ausnahme der abgeernteten Wintergerste- und Rapsfelder zeigt die Entropie in Abb. 1 einen weiteren Anstieg bis Juli. Die Anisotropie nimmt hingegen für die überwiegend reifen Feldfrüchte generell niedrigere Werte als im Juni an. Der Alphawinkel steigt insbesondere auf den um 10–30 cm gewachsenen Futterklee- sowie auf Getreidefeldern im *far range* deutlich an. Die Rückstreuung der abgeernteten Felder sowie einzelner Getreidefelder im *near range* ist im Juli durch einen dominanten Oberflächenstreuteil mit $\alpha < 40^\circ$ charakterisiert. Auf einigen z. B. mit Mais bestandenen Feldern findet mit $\alpha > 50^\circ$ *double bounce* als dominanter Streumechanismus statt. Für die meisten Felder jedoch gibt der Alphawinkel mit $\sim 40^\circ$ – 50° bei einer relativ hohen Entropie bzw. einer vergleichsweise niedrigen Anisotropie dominante Volumenstreuung u. a. aufgrund inkohärenter Streuvorgänge an. Dies weist darauf hin, dass der schwächere sekundäre Streumechanismus an Bedeutung

für die Rückstreuung der reifen Feldfrüchte gewinnt bzw. alle elementaren Streumechanismen signifikant zum Radarecho beitragen.

3.2 Dominante und sekundäre Streuteile in der Pauli-Dekomposition

Für den Zeitpunkt der Datenaufnahme am 29.03.00 wurde in der Pauli-Dekomposition auf unbestandenen Feldern ebenfalls ein dominanter Oberflächenstreuteil von > 53 – 55% in Abb. 2 festgestellt, wobei die mittleren Anteile der *double bounce*- und Volumenstreuprozesse nur relativ gering zur Rückstreuung beitragen. Mit Winterroggen und -Gerste bestandene Felder zeigen etwas niedrigere Oberflächenstreuteile von $\sim 50\%$. Ausschließlich auf den Rapsfeldern dominiert *double bounce* mit einem Streuteil von $\sim 40\%$ in Abb. 2 die stattfindenden Rückstreuprozesse. Dabei entspricht ein annähernd gleich starker Oberflächenstreuteil von 38% der Aussage der Entropie bei Cloude. Volumenstreuung stellt im März mit ca. 15 – 20% den schwächeren sekundären Streuteil dar.

Analog zum Anstieg des Alphawinkels ist in Abb. 2 zu sehen, dass die Oberflächenstreuung durch einen zumeist stark abnehmenden Streuteil bis Juni charakterisiert ist. Im Gegenzug steigen sowohl die *double bounce*- als auch die Volumenstreuteile mit Ausbildung der Vegetationsstrukturen mehr oder weniger stark an. Nichtsdestotrotz stellen im Juni meist Oberflächenstreuung die dominanten und Volumenstreuung, bis auf die Kartoffelfelder, die kleinsten Rückstreuteile dar. Im Vergleich zu März bleibt Oberflächenstreuung auf einigen Getreidefeldern im *far range* ein relativ gleich starker Streuteil. *Double bounce* stellt nach Pauli vorwiegend den stärkeren sekundären Rückstreuprozess dar. Nur auf einigen Mais- sowie Getreidefeldern im *near range* dominiert er mit $\sim 40\%$ die stattfindenden Rückstrevorgänge (LIEBESKIND 2002). Hierin gelangen beide Dekompositions-Methoden zu einem ähnlichen Ergebnis.

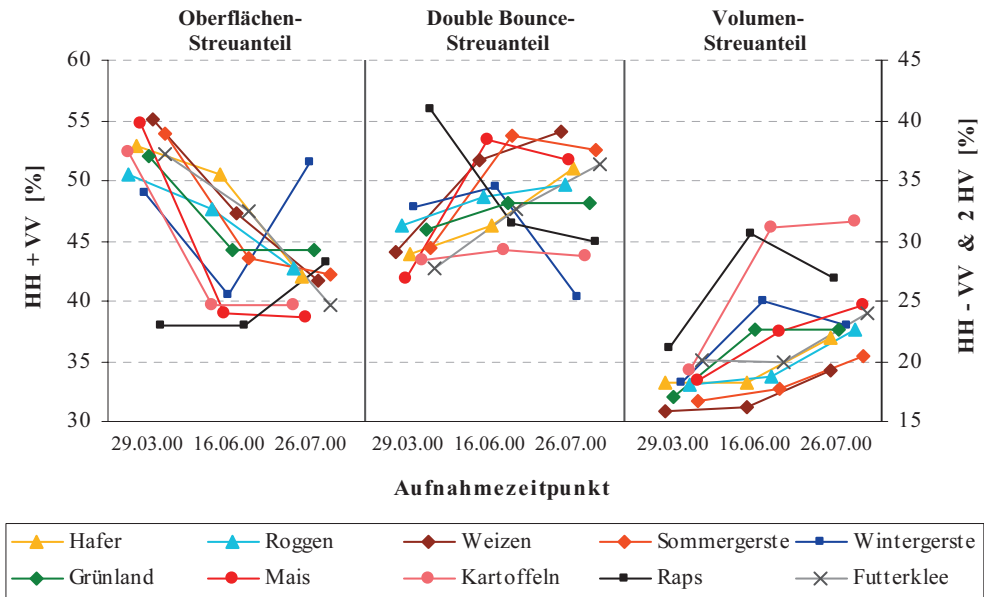


Abb. 2: Genormte mittlere Streuteile der Pauli-Dekomposition für die untersuchte Vegetation.

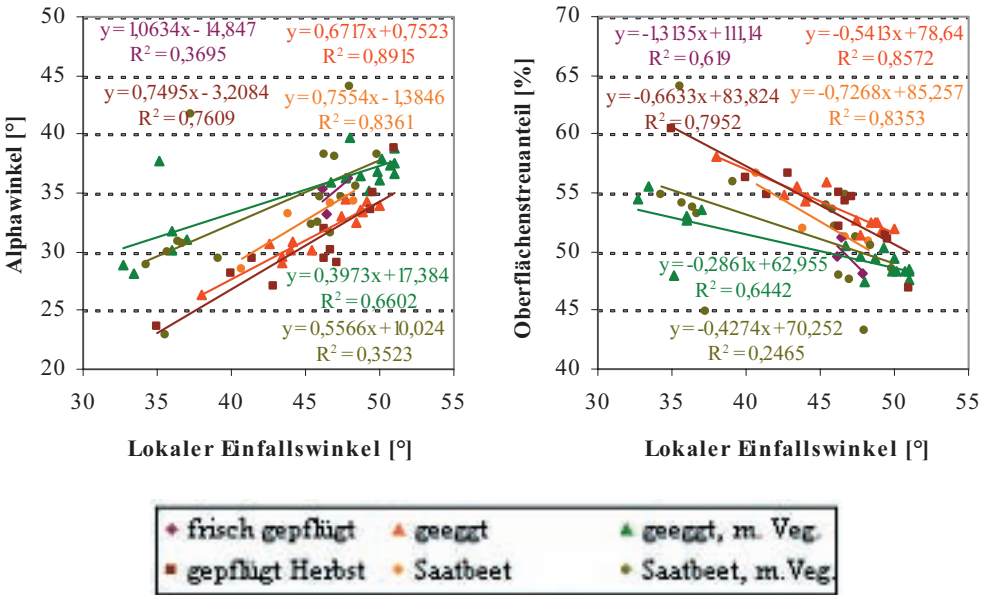


Abb. 3: Untersuchung des Einflusses des lokalen Einfallswinkels am 29.03.2000.

Das Rückstreuverhalten von Kartoffeln, den nahezu reifen Raps- und Wintergerstefeldern, welche die höchsten Volumenstreuteile z. T. > 30% anzeigen, sowie von Mais ist durch relativ geringe Differenzen

zwischen den dominanten und sekundären Streuteilen gekennzeichnet.

Der Oberflächenstreuteil bei Pauli nimmt in Abb. 2 für die meisten Feldfrüchte bis Juli ab und stellt mit etwa 40–52% einen

schwach dominanten Streumechanismus dar. Abgeerntete Raps- und Wintergerstefelder zeigen einen gegenläufigen Trend. *Double Bounce* bildet auch im Juli hauptsächlich den stärkeren sekundären Streuprozesses. Nur auf wenigen Mais- und Sommergerstefeldern trägt er mit einem dominanten Anteil zur Rückstreuung bei. Abb. 2 zeigt, dass mit der Abreife vieler Feldfrüchte der Anteil der Volumenstreuung weiter zunimmt, u. a. da die HV-polarisierte Komponente entscheidend durch geneigte Stiele (BARONTI et al. 1995) bzw. inhomogen verteilte Streuelemente bestimmt wird. Mit einem mittleren Streuanteil von max. 30% trägt Volumenstreuung mit der Ausnahme von Kartoffeln den relativ geringsten Anteil zur Rückstreuung bei. Somit sind alle deterministischen Streuprozesse wesentlich an der Gesamtrückstreuung im Juli beteiligt.

3.3 Einfluss des lokalen Einfallswinkels und der Rauigkeit im März

Die Werte der polarimetrischen Parameter deuten im März auf eine hohe Abhängigkeit des Streuverhaltens unbedeckter bzw. nur mit niedriger Vegetation bestandener Felder vom lokalen Einfallswinkel hin. Diese gestaltet sich so, dass mit einer Zunahme des Einfallswinkels eine Abnahme des Oberflächenstreuanteils bzw. ein Anstieg des Alphawinkels verbunden ist. Demzufolge spielt im *far range* die Oberflächenstreuung eine geringere Rolle für die Rückstreuung; stattdessen sind in diesem Bereich stärker Volumen- oder *double bounce*-Streuprozesse wirksam.

Die polarimetrischen Parameter zeigen dabei in Abb. 3 auf unbestandenen gepflügten Feldern mit einer höheren Rauigkeit, welche relativ hohe Rückstreuwerte in der HV-Polarisation bewirken (BARONTI et al. 1995), tendenziell eine geringere Abhängigkeit vom lokalen Einfallswinkel als auf unbestandenen geeggen oder Saatbeetfeldern mit einer geringeren Rauigkeit. Im Frühjahr wurde insbesondere im L-Band ein hoher Einfluss des lokalen Einfallswinkels auf

die Rückstreuung beobachtet, da Oberflächen im L-Band glatter erscheinen (SKRIVER et al. 1999).

3.4 Einfluss des lokalen Einfallswinkels auf reifes Getreide sowie Grünland

Das Streuverhalten von Sommergerste, Weizen und Roggen, welche sich Mitte Juni im Stadium der Grünreife befinden, zeigt in Abb. 4 eine relativ hohe Abhängigkeit vom lokalen Einfallswinkel. So zeigen Felder im *far range* höhere Oberflächen- sowie kleinere *double bounce*-Streuanteile bei Pauli an. Mit abnehmendem lokalen Einfallswinkel steigt der Alphawinkel jedoch an. D. h. im *near range* stellen hauptsächlich Volumenstreuung sowie *double bounce* bei Sommergerste die dominanten Rückstreuanteile in der Cloude-Dekomposition dar. Auf Roggen- und Sommergerstefeldern im *near range* nimmt die Anisotropie im Juni höhere Werte an, was auf einen geringeren Einfluss des schwächeren sekundären Streuanteils hinweist.

Der Einfluss des lokalen Einfallswinkels auf das Streuverhalten ist im Juli mit der Ausnahme von Sommergerste, welche gegenüber anderen untersuchten Getreidearten geringere Vegetationshöhen von 50–80 cm aufweist, sowie von Grünland aufgrund eines hohen inkohärenten Volumenstreuanteils (SKRIVER et al. 1999) generell niedrig. Die vorwiegend reifen Feldfrüchte bewirken einen hohen Rückstreuanteil der HV-Komponente sowie relativ starke Streubeiträge der sekundären deterministischen Streumechanismen.

Für die Grünlandflächen gibt der Alphawinkel in Abb. 4 mit Werten $< 35^\circ$ einen dominanten Oberflächenstreuanteil im *near range* an. Für die Felder im *far range* hingegen zeigt er dominante Volumenstreuung bei einer relativ hohen Entropie an. Im *near range* weist die geringere Entropie auf kleinere Beiträge der sekundären Streuprozesse hin. Demzufolge wird im *near range* die Rückstreuung von Grünlandflächen (bei Vegetationshöhen von 10–30 cm) stärker durch den Boden beeinflusst.

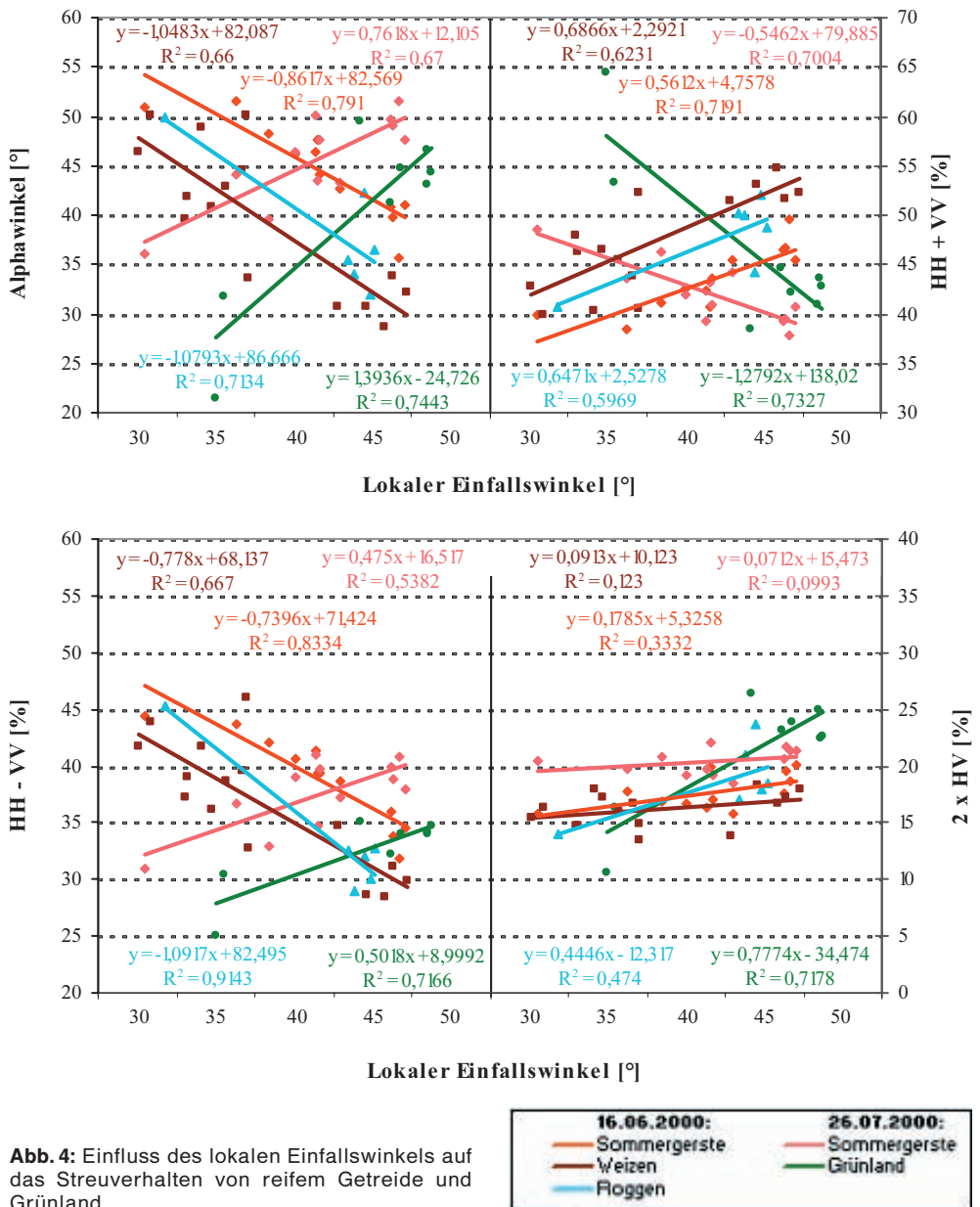


Abb. 4: Einfluss des lokalen Einfallswinkels auf das Streuverhalten von reifem Getreide und Grünland.

3.5 Der Einfluss der Vegetationsstruktur auf die Rückstreuphänomene

Die Rückstreuung von Winterraps im Frühjahr sowie von einigen untersuchten Maisfeldern ist durch dominante *double bounce*-Streuanteile gekennzeichnet. Raps weist

im März laut Groundtruth-Daten einen relativ niedrigen Bodenbedeckungsgrad von ~40% bzw. Mais von ±50% auf. Aufgrund von Interaktion der Radarwellen zwischen dem Boden und den kräftigen aufrechten Hauptsprossen, welche eine Abschwächung der VV-Polarisation bewirken

(SKRIVER et al. 1999), wird eine dominante *double-bounce*-Streuung im L-Band hervorgerufen (DE MATTHAEIS et al. 1994).

Getreide, welches sich am 16.06.00 im Stadium der Grünreife befindet, und einen hohen Bodenbedeckungsgrad von ~ 82 – 97% aufweist, verursacht im *near range* nach Cloude häufig dominante Volumenstreuung bzw. im *far range* vorwiegend dominante Oberflächenstreuung. Bei relativ geringen Vegetationsdichten konnten im *far range* tendenziell höhere Alphawinkelwerte bzw. Volumenstreuteile bei Pauli u. a. auf Hafer- und Gerstenfeldern festgestellt werden.

Im Juli befinden sich die meisten untersuchten Getreidearten im Stadium der Gelbreife, welche bei Wintergerste bereits im Juni einsetzt. Die Gelbreife ist u. a. durch trockenere Vegetationsbestände, gebogene Ähren sowie z. T. geneigte Stiele gekennzeichnet. Aufgrund des reduzierten Wassergehaltes kann das L-Band tiefer in das Vegetationsvolumen eindringen. Nach Cloude trägt auf Feldern mit reifem Getreide Volumenstreuung den dominanten Anteil hauptsächlich von der Vegetation zur Rückstreuung bei, wobei die Getreideähren im fortgeschrittenen Reifestadium ebenso einen signifikanten Einfluss auf die Radar-rückstreuung ausüben. Die direkte Bodenreflexion nimmt dagegen kaum Anteil an der Rückstreuung (STILES et al. 2000, COOKMARTIN et al. 2000). Reife Rapspflanzen, deren bis zu 10 cm langen Schoten im Juni vollständig ausgebildet sind, bewirken u. a. wegen ihrer inhomogenen Vegetationsstruktur mit zufällig angeordneten Vegetationselementen hohe bzw. dominante Volumenstreuteile. Die Mikrowellen werden im L-Band vorwiegend an geneigten Pflanzenstielen und großen Blättern gestreut (BARONTI et al. 1995). Kartoffelpflanzen stellen aufgrund ihrer Staudenform eine komplexe Vegetationsschicht mit großflächigen Laubblättern dar. Diese verursachen neben den krautigen Pflanzenstielen eine hohe HV-Komponente (SKRIVER et al. 1999) bzw. einen signifikanten Volumenstreuteil.

Die hohe Entropie reifer Feldfrüchte sowie der breitblättrigen Kartoffel- und Mais-

pflanzen weist auf das Wirken aller drei deterministischen Streumechanismen bzw. auf einen starken Einfluss der sekundären Streuteile hin.

Schlussfolgerungen

Für die Ergebnisse der Pauli-Dekomposition ist ein relativ hoher Anteil der Oberflächenstreuung über die gesamte untersuchte Vegetationsperiode kennzeichnend. In Bezug auf die saisonale Entwicklung sowie hinsichtlich des Einflusses des lokalen Einfallswinkels verhält sich dieser Anteil tendenziell in Abb. 5 äquivalent zum Alphawinkel in der Cloude-Dekomposition.

Das Verhältnis der einzelnen Streuteile wird in beiden Dekompositionen ähnlich wiedergegeben. So zeigen Felder mit einer hohen Entropie relativ gleich starke prozentuale Streuteile aller Streumechanismen bei Pauli. Ein großer Unterschied zwischen beiden Ansätzen besteht im Anteil der Volumenstreuung, welcher nach Cloude auf vegetationsbedeckten Feldern eine wesentliche Rolle für die stattfindenden Streuprozesse spielt, nach Pauli jedoch über die ge-

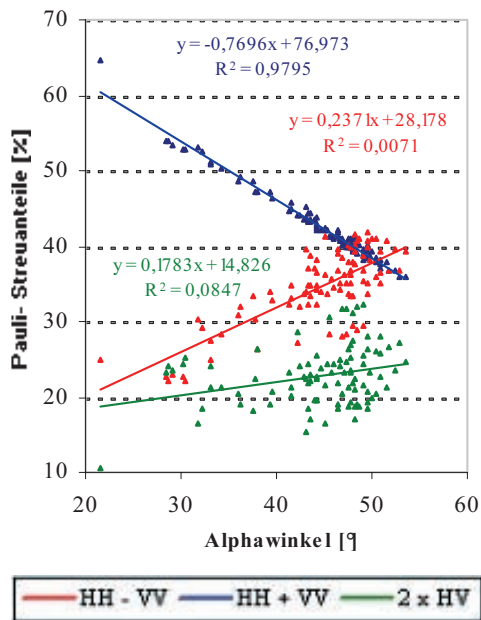


Abb. 5: Regression der Pauli-Streuteile mit dem Alphawinkel für alle Felder am 26. 07. 00.

samte Vegetations-Periode hinweg nur relativ gering zur Rückstreuung beiträgt. Dies ergibt sich u. a. aus der Berechnung des Volumenstreuanteils in der Pauli-Dekomposition mit der Formel $2 \times HV$. Die Zielzerlegung nach Pauli beruht auf der Trennung von drei idealen Streuanteilen, weshalb sie zur theoretischen Beschreibung des Streuverhaltens von Punktzielen geeignet ist.

Der lokale Einfallswinkel erwies sich in der vorliegenden Untersuchung als der wichtigste Einflussfaktor für die stattfindenden Streumechanismen insbesondere im März auf unbestandenen Feldern mit einer geringeren Oberflächenrauigkeit. Für grünes reifendes Getreide gestaltet sich der Einfluss des lokalen Einfallswinkels im Gegensatz zum Frühjahr durch höhere Oberflächenstreuanteile im *far range* sowie größere Volumen- und *double bounce*-Anteile im *near range*. Mit dem Einsetzen der Gelbreife nimmt die Abhängigkeit des Streuverhaltens vom lokalen Einfallswinkel ab. Reife Feldfrüchte bewirken im Juli zumeist hohe inkohärente Anteile der Volumenstreuung sowie drei ähnlich stark wirkende Streumechanismen.

Ausblick

Um weitere wichtige Einflussgrößen abzuleiten bzw. ihre Bedeutung für die Radarrückstreuung herauszufinden, kann das Streuverhalten unter Berücksichtigung des Faktors lokaler Einfallswinkel analysiert werden. Zu untersuchen wären dabei insbesondere die Bestandesdichte bzw. der Bodenbedeckungsgrad sowie auch die Pflanzenhöhe, da am Beispiel einzelner Getreidefelder Anzeichen eines Einflusses dieser Größen auf Art und Anteile der wirkenden Rückstreumechanismen erkennbar waren (LIEBESKIND 2002).

Zur Erhöhung des Informationsgehaltes von polarimetrischen SAR-Daten können zum einen verschiedene Frequenzen zur Datenaufnahme verwendet, zum anderen verschiedene Methoden zur Extraktion des Streuverhaltens bzw. weiterer polarimetrischer Parameter sowie Daten mehrerer Zeitpunkte kombiniert werden. So wird bei-

spielsweise durch Bildung eines kombinierten Merkmalsraumes aus Entropie und Anisotropie die Trennbarkeit und Identifizierung von Objekten der Erdoberfläche verbessert. Werden den extrahierten Streumechanismen natürliche Objekte zugeordnet, kann eine unüberwachte Klassifizierung durchgeführt werden (HELLMANN 2000).

Umfangreichere Kenntnisse von den wirkenden Streumechanismen an vorkommenden Vegetationsarten und Landnutzungen sowie den wichtigen Einflussgrößen erlauben exaktere Modelle, wodurch wiederum in einem nächsten Schritt Informationen über die Eigenschaften der Objekte und damit über die Zielobjekte direkt aus den aufgezeichneten Radarbildern abgeleitet werden können.

Danksagung

Dank gebührt dem Deutschen Ministerium für Bildung und Forschung (FKZ 50EE 0035) für die freundliche Unterstützung des TerraDew-Projektes sowie der DLR, SPARC und QuinetIQ für die Bereitstellung der E-SAR Daten.

Literatur

- BARONTI, S. et al., 1995: SAR polarimetric features of agricultural areas. – *International journal of remote sensing* **16** (14): 2639–2656.
- BÖRNER, T., 2000: Kohärente Modellierung von Radarrückstreuung für die Anwendung in polarimetrischer SAR Interferometrie. – 1. Aufl., 123 S., DLR, Bibliotheks- und Informationswesen, Köln.
- CHIU, T. & SARABANDI, K., 2000: Electromagnetic scattering from short branching vegetation. – *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing* **38** (2): 911–924.
- CLOUDE, S.R., 1997: The physical interpretation of eigenvalue problems in optical scattering polarimetry. – *Proceedings of SPIE'97*, **3121** (polarization: measurement, analysis and remote sensing, SPIE's 42nd Annual Meeting): 88–99.
- CLOUDE, S.R. & POTTIER, E., 1997: An entropy based classification scheme for land applications of polarimetric SAR. – *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing* **35** (1): 68–78.

- CLOUDE, S.R. & POTTIER, E., 1995: Concept of polarization entropy in optical scattering. – *Optical engineering* **34** (6): 1599–1610.
- COOKMARTIN, G. et al., 2000: Modeling microwave interactions with crops and comparison with ERS-2 SAR observations. – *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing* **38** (2): 658–669.
- HAJNSEK, I., 2001: Inversion of surface parameters using polarimetric SAR. – 1. Aufl., 170 S., DLR, Bibliotheks- und Informationswesen, Köln.
- HELLMANN, M., 2000: Classification of fully polarimetric SAR data for cartographic applications. – 1. Aufl., 156 S., DLR, Bibliotheks- und Informationswesen, Köln.
- HOLECZ, F., 1993: Postprocessing von SAR-Satellitenbildern. – 1. Aufl., 149 S., Dept. of Geography, Univ. Zürich.
- JOHLIGE, A., 1998: Untersuchung zum Informationsgehalt experimenteller SIR-C/X-SAR Daten für forstliche Anwendungen am Beispiel der Testgebiete Oberpfaffenhofen und Bayrischer Wald. – 1. Aufl., 142 S., Hochschulschrift, Univ. München.
- KREMMERS, T., 1997: Untersuchung zum Anwendungspotential multitemporaler ERS-1 und JERS-1 Daten für die Kartierung und Beobachtung von Waldflächen in Mitteleuropa. – 1. Aufl., 184 S., Hochschulschrift, Univ. Freiburg (Breisgau).
- LIEBESKIND, P., 2002: Eine vergleichende Analyse der Pauli- und Cloude-Dekompositionsprodukte zur Ableitung der Streumechanismen aus vollpolarimetrischen E-SAR Daten. – Dipl.-Arbeit, Inst. f. Geogr., FSU Jena.
- DE MATTHAEIS, P. et al., 1994: Effect of scattering mechanisms on polarimetric features of crops and trees. – *International Journal of Remote Sensing* **15** (14): 2917–2930.
- POTTIER, E. & LEE, J.S., 1999: Application of the « $H / A / \square$ » polarimetric decomposition theorem for unsupervised classification of fully polarimetric SAR data based on the Wishart distribution. – CEOS SAR workshop, 26.–29. Oct. 1999.
- RUDOLF, H., 2000: Increase of information by polarimetric radar systems. – 1. Aufl., 122 S., IHE (Inst. f. Hochfrequenztechnik), Univ. Karlsruhe.
- SCHMULLIUS, C.C., 1992: Radarfernerkundung landwirtschaftlicher Flächen mit einem flugzeuggetragenen L-, C- und X- Band Scatterometer. – 1. Aufl., 111 S., Fachbereich Geowiss., FU Berlin.
- SKRIVER, H. et al., 1999: Multitemporal C- and L-band polarimetric signatures of crops. – *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing* **37** (5): 2413–2428.
- STILES, J.M. et al., 2000: Electromagnetic scattering from grassland – part II: measurement and modelling results. – *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing* **38** (1): 349–356.

Anschriften der Autoren:

Dipl.-Geogr. PIA LIEBESKIND
Am Weißen Stein 17, D-09117 Chemnitz
Tel.: 0341-46 33 678
e-mail: liebeskind2@yahoo.de

Dipl.-Geogr. TANJA RIEDEL
Prof. Dr. CHRISTIANE C. SCHMULLIUS
Friedrich-Schiller-Universität Jena
Institut für Geographie
Löbdergraben 32, D-07743 Jena
Tel.: 03641-948 877 & 03641-948 875
e-mail: Tanja.Riedel@uni-jena.de
e-mail: Christiane.Schmullius@uni-jena.de

Manuskript eingereicht: Februar 2004
Angenommen: August 2004

Vergleich unterschiedlicher Klassifikationsansätze am Beispiel von hoch auflösenden Satellitenbilddaten im Raum Leipzig

LOTHAR LINDE & WERNER KIRSTEIN, Leipzig

Keywords: remote sensing, IKONOS, knowledge classifier, eCognition, homogeneity, segmentation, objects, hierarchy

Zusammenfassung: Vom IKONOS-Satelliten stehen seit einigen Jahren geometrisch höchstauflösende Multispektraldaten zur Verfügung, die besonders für den Einsatz in hochkomplexen urbanen Bereichen sowie dem meist sehr kleinräumigen Übergangsbereich zum ländlichen Raum prädestiniert sind. Um dieses Informationspotential allerdings auch erfolgreich extrahieren zu können, müssen neue Wege zur Verarbeitung dieser Daten gegangen werden. Dabei konnte eine hierarchische, pixelorientierte Klassifikation (mit dem Erdas Imagine ExpertClassifier) durch die Möglichkeit der Einbindung verschiedenster synthetischer und nicht-spektraler Zusatzdaten zwar einige Probleme einer auf „training and test-areas“ (TTA) und statistischer Interpolation beruhenden Klassifikationen verringern. Eine zufriedenstellende Klassifikationsgüte für alle im Rahmen der Studie betrachteten Klassen konnte aber nur durch den Einsatz einer segmentbasierten Klassifikation (mit Definiens eCognition) erreicht werden. Dies setzt jedoch voraus, dass der Anwender – im der Klassifikation vorgeschalteten Segmentierungsprozess trotz dessen begrenzter Standardisierungs- und Steuermöglichkeiten – ein Höchstmaß an Objektgenauigkeit erzielt, da diese direkt Einfluss auf die Qualität der anschließenden Klassifikation nimmt.

Summary: *Comparison of Different Classifications at the Example of High-Resolution Imagery near Leipzig.* Since the last years the IKONOS-satellite provides multispectral data with highest geometric resolution. This allows analysing of highly diversified urban areas as well as their surrounding belt of small patched suburban and rural environments. However, these data require new classification methods in order to derive the information successfully. In the present study a pixel-based hierarchical classification (implemented by the Erdas Imagine ExpertClassifier) could reduce problems based on the processing of training and test-areas (TTA) and statistical analysis by its capability to include various auxiliary data in the class description. The accuracy of the classification was further enhanced by using a segment-based classification approach (implemented by Definiens eCognition). Nevertheless problems of this approach arise due to the segmentation process, that was developed for a maximum of automation. Although this simplifies the segmentation considerably, it also limits the possibilities to control this process efficiently in case the data quality falls below a certain standard. That may hinder the users success to define most accurate image segments as a prerequisite for a high quality of classification.

Einleitung

Nahezu alle europäischen Landschaften werden seit Jahrhunderten mehr oder weniger kontinuierlich durch den Menschen genutzt. Infolgedessen ist ihr raum-zeitliches Erscheinungsbild nicht nur ein Ergebnis der natürlichen Prozessdynamik, sondern in

starkem Maße das Produkt einer z. T. intensiven Anpassung der Landschaft an die sozio-kulturellen und politisch-ökonomischen Bedürfnisse bzw. Ansprüche der jeweiligen Gesellschaft (BECKER 1998, TURNER & GARDNER 1991, in WALZ et al. 2001).

Besonders in jüngster Zeit hat sich diese Transformation durch tief greifende politi-

sche und wirtschaftliche Veränderungen in den Staaten des ehemaligen Ostblocks stark beschleunigt. Um diese komplexen Interaktionen und die aus ihnen hervorgehenden Veränderungen und Folgen verstehen und gegebenenfalls steuernd eingreifen zu können, sind Planungsmaterialien nötig, die sowohl geometrisch als auch zeitlich hoch auflösend sind (Detailgenauigkeit und Aktualität).

An dieser Stelle können satellitengetragene Sensoren heute einen entscheidenden Beitrag leisten. Waren der Datenerfassung und -bewertung durch die ungenügende geometrische Auflösung älterer Satelliten vor allem im urbanen und suburbanen Bereich klare Grenzen gesetzt, stehen in jüngster Zeit mit dem Start hoch und höchst auflösender Satellitensensoren (z. B. IKONOS) in Bezug auf Aktualität sowie geometrische und spektrale Auflösung inzwischen geeignete Daten zur Verfügung (MANSBERGER 2000, MEINEL & REDER 2001).

Allerdings ergeben sich bei der Verarbeitung dieser Daten neue Probleme und Herausforderungen für den Anwender. Können die bisher vorliegenden Satellitenbilddat

ten mit geringerer geometrischer Auflösung noch weitgehend erfolgreich durch die Betrachtung von Einzelpixeln klassifiziert werden, führt dieser zwar weit verbreitete, aber auf der Datenqualität der 70er Jahre aufbauende methodische Ansatz (BLASCHKE 2000) bei hoch- und höchstauflösenden Daten (Erhöhung der Objektdichte und spektralen Varianz) oft nur zu unbefriedigenden Ergebnissen. In diesem Zusammenhang hat die bisher kaum in die Klassifikation einbezogene Nachbarschaftsinformation der Pixel einen enormen Bedeutungsgewinn erfahren und findet aktuell Einsatz in „segmentorientierten“ (Abstraktion der gesamten Szene) oder „objektorientierten“ (Abstraktion gezielt für bestimmte Objekte) Klassifikationssystemen (BLASCHKE 2000, BLASCHKE et al. 2001, Meinel et al. 2001).

Untersuchungsgebiet

Die vorliegende Analyse einer IKONOS-Multispektralszene ist ein Kooperationsprojekt zwischen dem Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH (UFZ) und dem Institut für Geographie der Universität

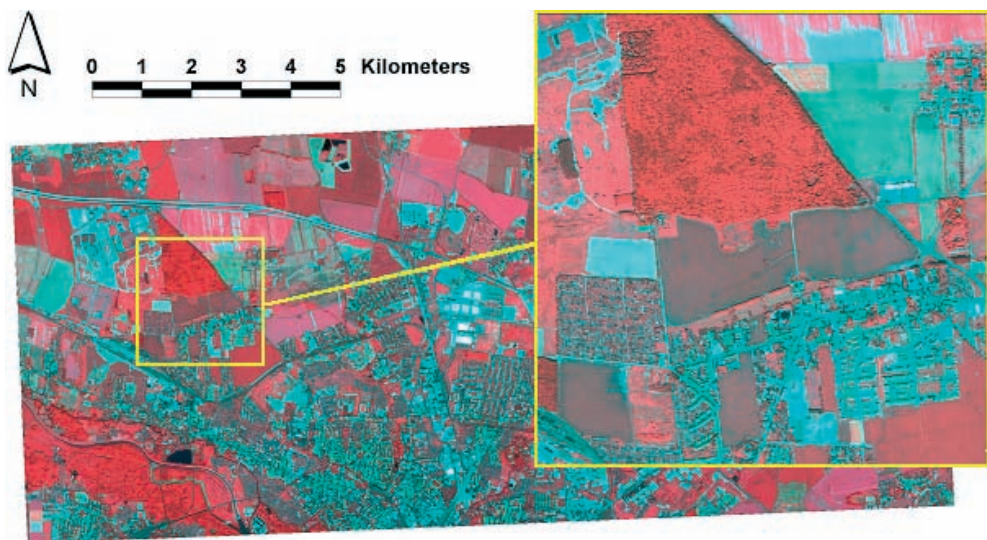


Abb. 1: Analyzierte IKONOS-Satellitenszene vom Nordraum der Stadt Leipzig (Hintergrund, Aufnahme datum: 18.06.2002, Auflösung 4 m, Darstellung: Fehlfarben-IR [4-3-2]). Der vergrößerte Ausschnitt wurde zur besseren Darstellung der Ergebnisse im Artikel gewählt. Die beschriebenen Ergebnisse und Klassifikationsgenauigkeiten beziehen sich aber auf die Gesamtszene.

Leipzig. Es ist aus dem Projekt „Analyse und Bewertung der Naturraumpotenziale in der suburbanen Kulturlandschaft mit Methoden der Fernerkundung und GIS“ abgeleitet und in das UFZ-Verbundvorhaben „StadtNatur – Anforderungsprofile, Strategien und Maßnahmen zum Management von Natur in urbanen Landschaften“ eingebettet. Die untersuchte Szene vom 18.06.2002 verfügt über eine Bodenauflösung von 4 m und deckt einen 144 km² (8 km × 18 km) großen Bereich im Nordraum der Stadt Leipzig sowie des vorgelagerten suburbanen und ländlichen Raumes ab (Abb. 1). Damit ist die analysierte Szene deutlich größer als die in früheren Vergleichen anderer Autoren herangezogenen Ausschnitte (z. B. MEINEL et al. 2001: urban: 5,76 km²; NEUBERT & MEINEL 2002: urban: 5,76 km², ländlich: 12,25 km²). Im Gegensatz zu kleinräumigen Beispielausschnitten muss der Klassifikationsschlüssel für eine Gesamtszene (urbaner Raum *und* ländlicher Raum) allerdings eine deutlich erhöhte Objektvielfalt und eine damit einhergehende erhöhte Varianz korrekt erfassen, wobei insbesondere die Übergangsbereiche zwischen Stadt und Land in den Form- und Größenparametern ihrer Objekte eine Zwischenstellung einnehmen und damit die korrekte Objekt- und Klassentrennung über die gesamte Szene auch auf Segmentbasis deutlich erschweren können.

Materialien und Methoden

Datenprozessierung

Die Ausgangsdaten des IKONOS-Satellitenbildes lagen zum Zeitpunkt des Projektstarts vollständig georeferenziert vor. Die Szene war bis auf einen sehr kleinräumigen und schwachen Schleier im Südwesten praktisch wolkenfrei. Da die Originalszene in allen Kanälen (RGB, NIR) nur die Grauwerte im unteren Bereich der gesamten zur Verfügung stehenden Farbtiefe (11 bit) belegte, wurde zur besseren Trennung der Signaturen eine Grauwertstreckung über das ganze Grauwertspektrum vorgenommen.

Software und methodische Konzepte

Das gesamte Gebiet der Szene wurde sowohl einer pixelorientierten (mit dem Erdas Imagine Knowledge Classifier V8.5) als auch einer segmentorientierten Klassifikationsmethode (mit Definiens eCognition V3) unterzogen. Analog zum Hauptprojekt wurde eine Teilklassifikation mit den Klassen Gehölze, Grünflächen sowie Gewässer angelegt.

Ableitung von Sekundärdaten

Zur erfolgreichen Klassifikation der Szene wurden aus der reinen Spektralinformation folgende weitere Daten abgeleitet: a) der NDVI, u. a. zur Unterstützung der Abgrenzung von Vegetation zu brach gefallenem oder verdichteten Gebieten sowie b) Texturwerte (jeweils einmal mit einer 3 × 3- und 7 × 7-Matrix berechnet, Abb. 2), u. a. zur besseren Abgrenzung von sehr heterogenen (z. B. Siedlungsgebiet, Forsten) zu homogenen Bereichen (z. B. Ackerflächen).

Außerdem standen weitere spektrale und thematische Zusatzdaten zur Verfügung, die auf ihre unterstützende Eignung in einer Klassifikation überprüft werden sollten. Mit einem Fusionsbild aus Landsat ETM+ (ms, 30 m) und IRS-1C-Daten (pan, 6 m) sollte vor allem die spektrale Auflösung verbessert und damit gegebenenfalls die Trennung der Klasse Gewässer unterstützt werden. ATKIS-Polygondaten standen zur Maskierung bereit. Auf die Verarbeitung eines Bildfusionsproduktes aus multispektralen (4 m) und panchromatischen (1 m) IKONOS-Daten – wie in anderen Projekten oft angewandt – wurde hier zu Gunsten einer maximalen Szenengröße (Rechenzeiten) verzichtet.

Berechnung der Klassifikationsgüte

Um die Güte der Klassifikationsergebnisse zu ermitteln, wurde für alle Klassen und beide methodischen Herangehensweisen ein Test mit dem „Erdas Imagine Accuracy Assessment Tool“ durchgeführt. Dazu wurden mit Hilfe des Zufallsgenerators pro Klassi-

fikation 50 Testpunkte innerhalb der Klasse gesetzt, um die Genauigkeit der Klassifikation (richtig vs. falsch erkannte Objekte) zu überprüfen. Zusätzlich wurden 50 weitere Punkte mit dem Zufallsgenerator im Bereich außerhalb der Klasse gesetzt, um auch die Reichweite der Klassifikation (nicht erkannte Objekte) als Gütekriterium mit einzubeziehen. Außerdem wurde die Güte jeweils über die gesamte Szene und nicht an spezifischen Ausschnitten berechnet.

Anwendung und Ergebnisse

Klassifikation mit dem Erdas Imagine Expert Classifier

Mit dem „Expert Classifier“, der als Teil der Software ERDAS IMAGINE Professional ausgeliefert wird, steht ein Klassifikations-tool zur Verfügung, das eine pixelorientierte Analyse auf der Basis eines vom Benutzer/Anwender entwickelten hierarchischen Regelwerkes durchführt. Dieser Ansatz hat zwei wesentliche Vorteile gegenüber auf

TTAs und statischer Interpolation basierenden Klassifikationsmethoden (ML oder MD):

- Die manuelle Festlegung von Grenzwerten ermöglicht eine präzisere Ansteuerung einzelner Signaturen.
- Es können gleichzeitig sowohl Spektraldaten, synthetische Kanäle (z. B. NDVI, Textur) als auch nicht-spektrale Daten (ggf. auch mit Nachbarschaftsinformation) als Entscheidungskriterien in die Klassifikation eingehen.

Im vorliegenden Projekt hat sich die Kombination dieser beiden Eigenschaften als entscheidender Vorteil für die Klassifikation der hoch auflösenden Daten erwiesen. Da allein auf der Basis von Spektraldaten keine korrekte Trennung zwischen Gehölzen und einigen Grünflächen möglich war, wurden zusätzlich der NDVI und Texturdaten in den Entscheidungsbaum einbezogen, während eine 7×7 -Hochpassfilterung Klassifikationslücken in Wald- und Forstbereichen bis auf wenige kleinräumige Ausnahmen

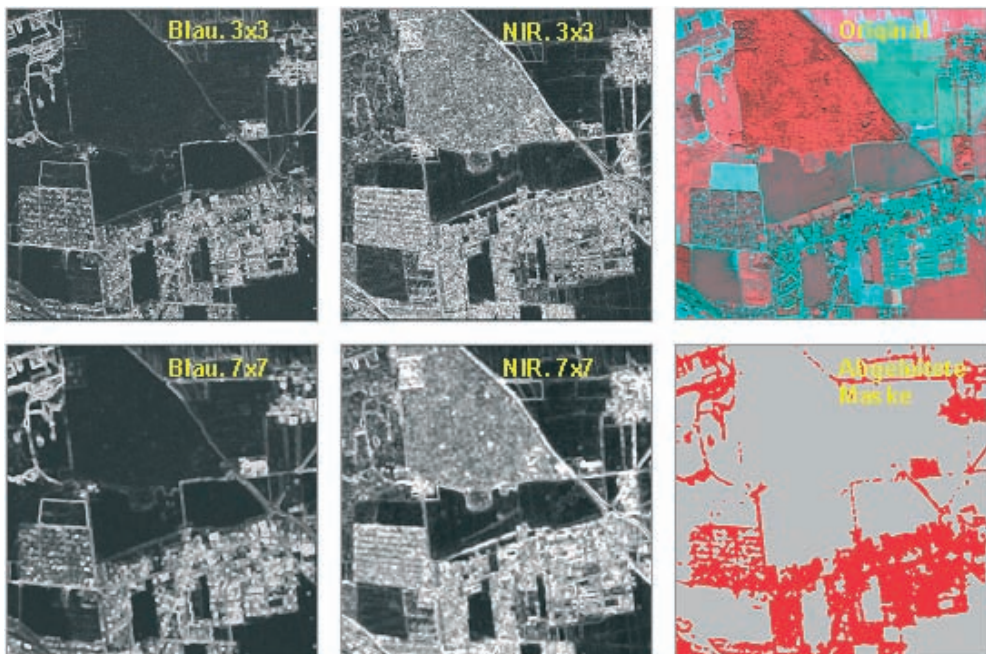


Abb. 2: Textur-Dateien aus verschiedenen Spektralkanälen des IKONOS-Satelliten und in verschiedener Matrixgröße. Hell = sehr heterogen, dunkel = sehr homogen.

schließen konnte (Abb. 3, links). Diese Vorgehensweise konnte allerdings nicht in gleichem Maße auf ländliche und urbane Gebiete angewendet werden: während die Texturdaten im ländlichen Bereich für eine deutliche Verbesserung der Klassifikationsgüte sorgten, führte die Randunschärfe der Texturdaten im urbanen Gebiet durch die Dominanz sehr kleiner Objekte (Solitär bäume) zu einer deutlichen Unterschätzung des Gehölzanteils.

Um diesem Fehler vorzubeugen wurden Siedlungsbereiche über die Klassifikation von Texturwerten des blauen und grünen Spektralanteils (hohe Reflexion bebauter Flächen) und der darauf folgenden Schließung kleinerer Lücken mit einem 7×7 -Hochpassfilter ausmaskiert (Abb. 2). In diesen Bereichen wurde anschließend auf den Einsatz von Texturdaten verzichtet. Auch für die Klassifikation von Gewässern konnte diese Maske erfolgreich eingesetzt werden, vor allem um Fehlklassifikationen im Bereich von Gebäudeschatten zu unterdrücken. Restfehler durch Gebäudeschatten in sehr locker bebauten Bereichen, die nicht erfolgreich von der Maske erfasst werden konnten, wurden über die Objektgröße (CLUMP & SIEVE < 20 Pixel) eliminiert.

Schwieriger gestaltete sich die Klassifikation von Grünflächen (Parks, Wiesen, Weiden), die explizit von ackerbaulich genutzten Flächen (bepflanzte Äcker) getrennt werden sollten. Zum Aufnahmezeitpunkt der Szene (18. 06. 2002) konnten diese weder auf der Basis von Spektralwerten noch mittels NDVI sicher unterschieden werden. Mit dem Einsatz von Texturdaten konnte zwar der Umstand genutzt werden, dass die Felder im Untersuchungsgebiet im Gegensatz zu Grünflächen über eine geringere Kleinstreliefierung und eine gleichmäßigere Artenzusammensetzung verfügen, was sich in leicht erhöhten Homogenitätswerten niederschlägt. Traktorensuren oder Vernäsungsbereiche sorgten aber auch in diesem Fall für Fehlklassifikationen, die sich nicht weiter effektiv reduzieren ließen (Abb. 3, links). Größenmaße (CLUMP & SIEVE), die von MEINEL et al. (2001) eingesetzt wurden, konnten in der vorliegenden Szene ebenfalls

nicht als sicheres Ausschlusskriterium herangezogen werden, da sowohl im Übergang zwischen urbanem und ländlichem Raum als auch in den innerstädtischen Auegebieten sehr große Grünflächen existieren, während gleichzeitig mit zunehmender Nähe zur Stadt und der damit einhergehenden Flächenzerschneidung die Größen der Ackererschläge z.T. deutlich unter die Ausdehnung der städtischen Grünflächen fallen. Auch der Einsatz spektral höher auflösender Daten des LANDSAT/IRS-Fusionsbildes stellte sich nicht als hilfreich für die Klassifikation heraus. Wenn man auf den Einsatz ggf. veralteter Sekundärdaten (wie z. B. ATKIS, Biotoptypenkartierung etc.) als Masken verzichtet, muss man zumindest bei dieser Klasse und zu dieser Jahreszeit mit deutlichen, kaum eliminierbaren Fehlern rechnen.

Klassifikation mit Definiens eCognition

Die segmentorientierte Klassifikation mit Definiens eCognition nutzt eine grundlegend andere Vorgehensweise als der Erdas Imagine ExpertClassifier: anstatt Pixel für Pixel einzeln zu klassifizieren, werden hier benachbarte Pixel mit ähnlichen Eigenschaften (homogene Gebiete) zu Segmenten zusammengefasst.

Ausgangspunkt dafür ist entweder das Pixel als kleinstes anzunehmendes Segment oder ein untergeordnetes Level mit kleineren Segmenten. Auf deren Basis führt eCognition ein „bottom-up region-merging“ der Nachbarn durch, wobei es aus dem Grad der Homogenität/Heterogenität der Nachbarn die Fusionskosten (*merging costs* → *degree of fitting*) für den jeweiligen Zusammenschluss ermittelt und diese dem vom Benutzer bestimmten „least degree of fitting“-Wert (*scale parameter*, definiert über das *composition of homogeneity criterion*) gegenüberstellt. Liegen die Fusionskosten unter dem vom User bestimmten Grenzwert, wird die Fusion durchgeführt, liegt sie darüber, wird der „region-merging“-Prozess abgebrochen und damit eine Grenze des Objektes definiert (BAATZ & SCHÄPE 2000). Leider hängt

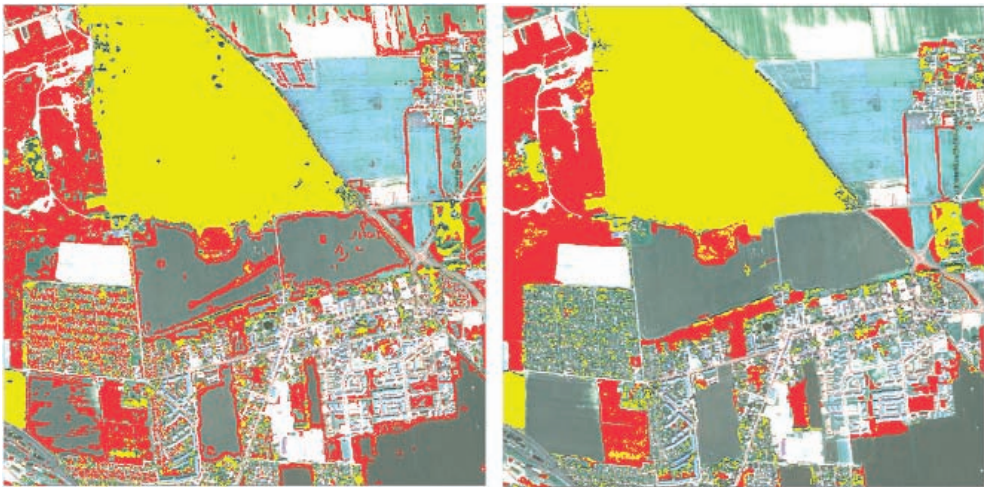


Abb. 3: Links Klassifikationsergebnisse mit Erdas Imagine Knowledge Engineer, rechts mit Definiens eCognition. Zur besseren Erkennbarkeit sind Gehölze in gelb und Grünflächen in rot dargestellt.

die Qualität der „multiresolution segmentation“ mit einer bestimmten Parameterkonstellation (*scale parameter* und *composition of homogeneity criterion*) stark von den Eigenschaften der Eingangsdaten ab und ist damit kaum standardisierbar. Deshalb muss die jeweils am besten geeignete Parameterkonstellation für jede Szene iterativ neu evaluiert werden („trial and error“ – Prinzip, u. a. MEINEL et al., 2001; NEUBERT & MEINEL, 2002) – was aufgrund der enormen Rechenzeiten für eine Vollszene effektiv nur an Testgebieten geschehen kann. In der Praxis ließen sich die Ergebnisse bzw. Qualitäten aus diesen Testgebieten allerdings nicht zufrieden stellend auf die gesamte Szene übertragen, sodass die Evaluation an der Gesamtszene durchgeführt werden musste – ein extrem zeitaufwendiger Prozess, der mehr Zeit in Anspruch nahm als die anschließende Klassifikation. Als Daten für die Segmentierung gingen letztendlich die Kanäle 2–4 (gleich gewichtet) jeweils mit den *scale parametern* 05, 15, 50 und 100 sowie dem *composition of homogeneity criterion* 0.7 (color) / 0.3 (shape) sowie 0.5 (smoothness) / 0.5 (compactness) ein.

Dafür gestaltete sich die Klassifikation auf der Basis der definierten Segmente/Ob-

jekte einfacher als mit dem zuvor beschriebenen pixelorientierten Ansatz. Verantwortlich dafür waren vor allem zwei Vorteile des segmentorientierten Ansatzes: die angelegte Hierarchie aus kleinen Sub-Objekten (Level 1, scale parameter 05) und sukzessive ansteigenden großen Super-Objekten (Level 2, 3 und 4, scale parameter 15, 50, 100) ermöglicht es, die korrekt klassifizierte Objekte sowie die Masken für falsch klassifizierte Objekte nicht mehr auf ein und demselben Level definieren zu müssen, sondern das jeweils geeignetste Level (Aggregations- und Abstraktionsgrad) dafür zu wählen und diese anschließend zu verknüpfen. Außerdem stellen die Segmente Form und Nachbarschaftsdaten für die anschließende Klassifikation zur Verfügung, auf die im pixelorientierten Ansatz als Entscheidungskriterium nicht zurückgegriffen werden kann.

Im konkreten Fall der Klasse Gehölze konnte zwar auf der Ebene der kleinsten Objekte (scale parameter 05), in der Solitärgehölze ausklassifiziert werden sollten, Fehlklassifikationen durch Traktorensuren nicht unterdrückt werden. In einem Superlevel (scale parameter 50) gingen diese aber erfolgreich in der Klasse Acker auf und konnten somit ausmaskiert und rückver-

knüpft werden. Außerdem konnte der Objektzusammenhang für die Klassifikation größerer Forste auf der Basis größerer Segmente gegenüber dem pixelorientierten Ansatz verbessert werden (Abb. 3, rechts). Die gleiche Vorgehensweise führte auch zu einer deutlichen Verbesserung der Ergebnisse für die Klasse Grünflächen (Abb. 3, rechts).

Für die Klasse Gewässer ergaben sich die Vorteile in der Klassifikation gegenüber dem pixelorientierten Ansatz nicht so sehr aus der hierarchischen Betrachtung zwischen Sub- und Superobjekten, sondern aus dem Vergleich der Nachbarn. So konnten bei der Klassifikation von Gewässern Gebäudeschatten als Fehlklassen erfolgreich ausgeschaltet werden, da der Kontrast zwischen dem Gebäudeschatten und dem dazugehörigen Hausdach in der Regel deutlich größer ausfiel als der Kontrast zwischen dem Gewässer und seinem Ufer („mean difference to brighter neighbours“).

Zusammenfassung und Ausblick

Durch die Gegenüberstellung einer pixelorientierten und einer segmentbasierten Klassifikation auf der Basis eines hochauflösenden IKONOS-Satellitenbildes konnten sowohl Vor- als auch Nachteile beider Ansätze erfolgreich miteinander verglichen werden. Dabei stellte sich heraus, dass insbesondere Klassen/Objekte, die sich allein auf der Basis von pixelbasierten Spektral- und Strukturinformationen nicht erfolgreich trennen lassen (z. B. Wiesen und Parks vs. Ackerflächen), durch die Abstraktionsleistung des segmentorientierten Ansatzes deutlich genauer ausklassifiziert werden können (EI: 73%; eCognition: 93%). Darüber hinaus konnte mit dem segmentbasierten Ansatz vor allem bei größeren Objekten (z. B. Wäldflächen) der Objektzusammenhang verbessert und der Salt-and-Pepper Effekt effizient verringert werden.

Im Gegensatz dazu lieferte die segmentbasierte Verarbeitung bei der Klassifikation sehr homogener (z. B. Gewässer: EI: 97%; eCognition: 97%) oder sehr kleiner Objekte (z. B. Solitärgehölze: EI: 97%; eCognition: 96%) keinen entscheidenden Vorteil gegen-

über pixelbasierten Verfahren. Die Vorteile der von eCognition genutzten Objekthierarchien und Nachbarschaftsbeziehungen treten in diesen Fällen in den Hintergrund, während Probleme bei der korrekten Segmentdefinition bzw. durch die sinnvollen Mindestgröße der Segmente (Unterdrückung von Objekten nahe der Pixelebene) evident werden.

Damit etabliert sich die segmentbasierte Klassifikation insbesondere für die Erkennung und Verarbeitung komplexer Klassen/Objekte in hoch auflösenden Datensätzen, während pixelorientierte Ansätze für die Verarbeitung geringer auflösender Daten sowie für spektral/strukturell leicht abgrenzbare Klassen auch in Zukunft eine geeignete Alternative darstellen.

Danksagung

Der vorliegende Beitrag ist aus einem Folgeauftrag zum ursprünglichen Forschungsprojekt: „Analyse und Bewertung des Naturraumpotenzials in der suburbanen Kulturlandschaft mit Methoden der Fernerkundung und GIS“ entstanden. Das genannte Projekt wie auch die anschließende Verlängerung der Forschungsarbeiten wurde freundlicherweise vom Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH (Förderkennzeichen UFZ 12–99) finanziert.

Literatur

- BAATZ, M. & SCHÄPE, A., 2000: Multiresolution Segmentation – an optimization approach for high-quality multi-scale image segmentation. – In: STROBL, J. et al. (Hrsg.): Angewandte Geographische Informationsverarbeitung. XII. – Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 2000, pp. 12–23, H. Wichmann Verlag, Karlsruhe.
- BECKER, W., 1998: Die Eigenart der Kulturlandschaft – Bedeutung und Strategien für die Landschaftsplanung. – VWF – Verlag für Wissenschaft und Forschung, Berlin.
- BLASCHKE, T., 2000: Objektextraktion und regelbasierte Klassifikation von Fernerkundungsdaten: Neue Möglichkeiten für GIS-Anwender und Planer. – In: SCHRENK, M. (Hrsg.): CORP'2000: Computergestützte Raumplanung. – Band 1, 153–162, Wien.

- BLASCHKE, T. & STROBL, J., 2001: What's wrong with pixels? Some recent developments inter facing remote sensing and GIS. – *GIS* **6**: 12–17.
- LANG, S. & BLASCHKE, T., 2003: Hierarchical object representation – comparative multi-scale mapping of anthropogenic and natural features. – *ISPRS Archives* **34** (2003), Part 3/W 8: 181–186.
- MANSBERGER, G., 2000: Erste Erfahrungen mit 1-Meter-Satellitendaten von IKO-NOS. CORP'2000: Computergestützte Raumplanung – Archiv: <http://www.corp.at/archiv/corp—1996—2002.htm>.
- MEINEL, G. & REDER, J., 2001: IKONOS-Satellitenbilddaten – ein erster Erfahrungsbericht. – *Kartographische Nachrichten* 1/01: 40–46.
- MEINEL, G., NEUBERT, M. & REDER, J., 2001: Pixelorientierte versus segmentorientierter Klassifikation von IKONOS-Satellitenbilddaten – ein Methodenvergleich. – *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation* **2001** (3): 157–170.
- NEUBERT, M. & MEINEL, G., 2002 Segmentbasierte Auswertung von IKONOS-Daten – Anwendung der Bildanalyse-Software eCognition auf unterschiedliche Testgebiete. – In: BLASCHKE, T. (Hrsg.): *Fernerkundung und GIS: Neue Sensoren – innovative Methoden*. – pp. 108–117, H. Wichmann Verlag, Heidelberg.
- STEILEN, G., 2002: Klassifikation hochauflösender Satellitendaten mit Hilfe der Segmentierungssoftware eCognition. – Diplomarbeit, Göttingen.
- WALZ, U., SYRBE, R.-U., DONNER, R. & LAUSCH, A., 2001: Erfassung und ökologische Bedeutung der Landschaftsstruktur. – *Naturschutz u. Landschaftsplanung* **33**: 101–105.

Anschriften der Autoren:

Dipl.-Geogr. LOTHAR LINDE
 Prof. Dr. WERNER KIRSTEIN
 Universität Leipzig, Institut für Geographie
 Johannisallee 19a, 04103 Leipzig
 Tel.: 0341-973 2956, Fax: 0341-971 1837
 e-mail: Lothar.Linde@rrcap.unep.org
kstein@rz.uni-leipzig.de

Manuskript eingereicht: Februar 2004
 Angenommen: März 2004

Photogrammetrische Rekonstruktion der Kommandantur in Berlin

ALBERT WIEDEMANN, Berlin

Keywords: reconstruction, digital architectural photogrammetry, bundle block adjustment, historic images

Zusammenfassung: Die *Kommandantur*, Unter den Linden 1, in Berlin wurde im November 2003 als neue Berliner Niederlassung des Medienkonzerns Bertelsmann feierlich eröffnet. Die vier Fassaden des Objekts wurden aus historischen Bildern detailliert rekonstruiert und originalgetreu wieder aufgebaut. Dabei wurden auch Bilder aus dem MEYDENBAUER'schen Messbildarchiv sowie historische Amateurbilder verwendet. Der Hof im Süden und das Innere wurden neu konzipiert, aber an die Originalfassaden angepasst.

Summary: *Photogrammetric Reconstruction of the Commander's Headquarter in Berlin.* The Kommandantur (Commander's Headquarter), located Unter den Linden 1 in Berlin, was opened in November 2003 as the new Berlin branch of the Bertelsmann media group. The facades of the building have been reconstructed and originally rebuilt, based on historic photographs. Among them are photogrammetric images from the MEYDENBAUER archives and historic amateur images. The court yard and the interior have been newly designed, but adapted to the original facades.

1 Einleitung

Die Kommandantur Unter den Linden 1 war über Jahrhunderte der Sitz des Berliner Stadtkommandanten. Sie wurde im 17. Jahrhundert errichtet und um 1873/74 ein letztes Mal umfangreich verändert. Historische Bedeutung erhielt das Bauwerk 1944: letzter Bewohner und Stadtkommandant war PAUL VON HASE, welcher als Beteiligter des Stauffenbergschen Anschlags (20. Juli 1944) am 8. August 1944 hingerichtet wurde. Die Kommandantur wurde im Frühjahr 1945 bei Bombenangriffen auf Berlin beschädigt und in den 50er Jahren abgerissen. Auf dem Platz der Kommandantur und der ehemaligen Bauakademie (ab 1885 Sitz des MEYDENBAUER'schen Messbildarchivs) errichtete die DDR ihr Außenministerium. Nach Studien zur Rekonstruktion, vor allem vom Architekturbüro Stuhlemmer, Berlin, (STUHLEMMER 1997), der Fokus GmbH,

Leipzig (HEMMELEB 1999), und anderen (HEUVEL 2001) wurde das Grundstück an die Bertelsmann AG zum Aufbau ihrer Berliner Niederlassung verkauft. Beauftragt mit der Planung wurde das Architekturbüro Valentin, wobei das Architekturbüro Stuhlemmer den Auftrag bekam, in Zusammenarbeit mit der Firma fokus und dem Fachgebiet Photogrammetrie und Kartographie der Technischen Universität Berlin die originalgetreue Rekonstruktion der Fassaden zu ermöglichen, inklusive der Größe und Proportionen des gesamten Gebäudes.

2 Rekonstruktion

Die Erneuerung eventuell zerstörter Bauwerke war eine der Ideen, mit denen ALBRECHT MEYDENBAUER 1860 für die Einrichtung eines Messbildarchivs eintrat (MEYDENBAUER 1896). Große praktische Bedeutung erhielt die Rekonstruktion zerstörter

Gebäude nach Fotografien nach dem Zweiten Weltkrieg. Dabei waren aber von den meisten Objekten zumindest noch Ruinen übrig (SUTOR 1949).

Für die Rekonstruktion der Kommandantur wurden zwei Messbilder aus dem MEYDENBAUER'schen Messbildarchiv sowie 20 Amateurbilder aus diversen Quellen verwendet. Eines der Messbilder zeigt das ganze Objekt von der Nordostecke (Abb. 1), das andere ist ein Blick von der Schlossbrücke entlang der Straße Unter den Linden in Richtung Brandenburger Tor. Die Kommandantur wird darin am linken Bildrand

gestreift. Die Amateurbilder zeigen das Objekt aus verschiedenen Blickwinkeln, aber vor allem die zur Straße ausgerichtete Nordfassade.

Der Grundriss des Objekts konnte aus historischen Lageplänen und Vermessungsrissen aus dem Jahr 1880 gut rekonstruiert und durch Grabungen vor Ort bestätigt werden. Für die photogrammetrische Rekonstruktion konnten an Gebäuden in der Nachbarschaft (Zeughaus, Kronprinzenpalais, Humboldt-Universität) an geeigneten, kaum veränderten Bereichen, Passpunkte geodätisch eingemessen werden. Von kei-



Abb. 1: MEYDENBAUER'sches Messbild der Kommandantur, 1910.



Abb. 2: Die rekonstruierte Kommandantur im Jahr 2004.

nem der verwendeten Bilder waren Daten der inneren Orientierung bekannt. Somit war für jedes Bild ein eigener Satz von Daten der inneren Orientierung zu bestimmen, inklusive der Hauptpunktlage. Da diese Parameter bei nur einem Bild pro Kamera mit den Daten der äußeren Orientierung hochgradig korreliert sind, war soviel Referenzinformation wie möglich einzuführen, um trotzdem zuverlässige und genaue Ergebnisse am Objekt zu erzielen.

Neben den Passpunkten an den Nachbargebäuden waren, da die Messbilder von MEYDENBAUER horizontalisiert (Nadirdistanz $\nu = 100$ gon) und ausgekantet (Kappa $\kappa = 0$ gon) waren, pro Messbild zwei Winkel der äußeren Orientierung bekannt (MEYDENBAUER 1912). Zusätzliche Bedingungen waren horizontale und vertikale Linien am Objekt, Objektebenen und Strecken sowie Koordinatendifferenzen am Objekt. Die Bündelblockausgleichung erfolgte mit dem Programm IMBUN, welches speziell für die Rekonstruktion zerstörter Bauwerke geschrieben worden war (WIEDEMANN et al. 2000).

3 Ergebnis

Das Ergebnis der Arbeiten waren 3D-CAD-Datensätze, auf deren Basis das Architekturbüro Stuhlemmer großmaßstäbige Planungsunterlagen für die Fassaden-Rekonstruktion anfertigte. Neben den Grundmaßen und Entzerrungen der einzelnen Fassaden wurden Detailmaße für die dreidimensionale Rekonstruktion erarbeitet. Dabei kamen neben der Bündelblock-Ausgleichung Sonderverfahren zum Einsatz wie die Pseudo-Stereo-Photogrammetrie (KAGER 1984) und speziell entwickelte Methoden auf der Basis von Zusatzbedingungen (WIEDEMANN 2001), vor allem um die Tiefe von Vor- und Rücksprüngen der Fassadenrisalite und Fensteröffnungen oder die Tiefe der Bossen zu bestimmen. Für die bildhauerischen Arbeiten (z. B. die Brüstungs-Adler) wurden aus den Bildern Spannmaße abgeleitet.

Die Fassade wurde als selbsttragende Vorhang-Fassade realisiert. Auf der Südseite wurde der Hof des U-förmigen Grundrisses mit einer Stahl-Glas-Konstruktion überdacht, um einen exklusiven Veranstaltungs-

raum in Form eines Wintergartens zu schaffen. Das Objekt wurde nach nur zweijähriger Bauzeit im Herbst 2003 fertig gestellt. Das neue Bauwerk erstrahlt noch in heller Farbe (Abb. 2). In wenigen Jahren wird die Farbe etwas nachdunkeln und die natürliche Patina wird das Erscheinungsbild an das der historischen Fotos angleichen.

4 Ausblick und Dank

Die Kommandantur wurde nach kurzer Bauzeit im November 2003 als Berliner Niederlassung des weltweit aktiven *Bertelsmann Medienkonzerns* unter großer öffentlicher Aufmerksamkeit eröffnet. In unmittelbarer Nachbarschaft, auf der Südseite des Schinkelplatzes südlich der Kommandantur, steht die Musterfassade der Bauakademie, welche noch auf ihre Vervollständigung wartet. Auf der anderen Seite des Spreekanals steht die Ruine des „Palastes der Republik“ auf dem Schlossplatz, wo das Berliner Schloss wieder erstehen soll. Mit dem Wiederaufbau der Kommandantur ist die Machbarkeit einer am historischen Original orientierten Rekonstruktion zerstörter Gebäude auf der Basis von Bildern und photogrammetrischer Auswertemethoden nachgewiesen. Zur realen Rekonstruktion der anderen Objekte in Berlins Mitte fehlen nur noch der politische Wille und die Finanzierung. Das *Ingenieurbüro FPK* arbeitet mit dem *Architekturbüro Stuhlemmer* und dem *Förderverein Berliner Schloss* bereits an den Planungsunterlagen des deutlich größeren und komplexeren Berliner Schlosses.

Der Autor möchte sich bei den Projektpartnern für die gute Zusammenarbeit bedanken: Dem *Architekturbüro Stuhlemmer*, Berlin, der Firma *Fokus GmbH*, Leipzig, Dr.-Ing. MATTHIAS HEMMLEB und Prof. Dr.-Ing. JÖRG ALBERTZ als wissenschaftlichem Leiter der Arbeiten.

Literatur

HEMMLEB, M., 1999: Digital Rectification of Historical Images. – CIPA International Symposium, Olinda. Published on CD-ROM.

Heuvel, F.A. VAN DEN, 2001: Object reconstruction from a single architectural image. – *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation* **2001** (4): 247–260.

KAGER, H., 1984: Single image stereo-grammetry. – *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing XXV*, A5: 438–446.

MEYDENBAUER, A., 1896: Das Denkmäler-Archiv und seine Herstellung durch das Messbild-Verfahren. – Denkschrift, mit Vorwort und Kommentar von Rudolf Meyer 1992. Hrsg: Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung e.V., Berlin 1993, 16 S.

MEYDENBAUER, A., 1912: Handbuch der Meßbildkunst in Anwendung auf Baudenkmäler- und Reise-Aufnahmen. – Verlag von Wilhelm Knapp, Halle/S.

STUHLEMMER, R. & STUHLEMMER, Y., 1997: Machbarkeitsstudie: Rekonstruktion des Gebäudes der ehemaligen Kommandantur Berlin. – Im Auftrag der Senatsverwaltung für Bauen, Wohnen und Verkehr, Berlin.

SUTOR, J., 1949: Die photogrammetrische Rekonstruktion zerstörter Gebäude auf Grund von Amateuraufnahmen. – *Zeitschrift für Vermessungswesen*, S. 95–105.

WIEDEMANN, A., HEMMLEB, M. & ALBERTZ, J., 2000: Reconstruction of historical buildings based on images from the Meydenbauer archives. – *IAPRS*, Vol. XXXIII, Amsterdam, B5/2, S. 887–893.

WIEDEMANN, A., 2001: Photogrammetrische Rekonstruktion zerstörter Bauten aus historischen Photographien. – In: ALBERTZ, J. (Hrsg.): *Rauminformation für das 21. Jahrhundert*. – *Intergeo 2000/20*. DGPF-Jahrestagung 2000 in Berlin. Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung, Band 9, Berlin, 2001, S. 23–31.

Adresse des Autors:

Dipl.-Ing. ALBERT WIEDEMANN
 FPK Ingenieurgesellschaft mbH
 Feurigstr. 54, 10827 Berlin
 e-mail: a.wiedemann@fpk.de

Manuskript eingereicht: März 2004
 Angenommen: April 2004

Parameter-gesteuerte Qualitätssicherung von Orthophotos nach DIN 18740-3

REINER SCHWEBEL, Aalen

Keywords: photogrammetry, standardization, DIN-Norm, orthophoto

Zusammenfassung: Die Normenreihe DIN 18740 „Photogrammetrische Produkte“ für analoge, gescannte und digitale Bilder und für Orthophotos bietet Auftraggeber und Auftragnehmer eine Plattform zur Festlegung von Produkteigenschaften und deren Kontrolle und wird den wachsenden Ansprüchen an Qualität gerecht.

Digitale Orthophotos werden heute in unterschiedlichsten Fachgebieten und mit verschiedensten Ansprüchen eingesetzt. Für die Produktion der Orthophotos ist besonders wichtig, dass die spezifischen Anforderungen klar festgelegt werden und die geforderte Qualität gewährleistet werden kann.

Die im Oktober 2003 veröffentlichte Norm DIN 18740-3 „Photogrammetrische Produkte – Teil 3: Anforderungen an das Orthophoto“ gibt dem Anwender ein präzises und flexibles Werkzeug in die Hand, die Qualität von Orthophotoprodukten zu planen und zu kontrollieren. Ausgehend von den grundlegenden Parametern der Bodenauflösung und der geforderten Lagegenauigkeit des Orthophotos werden Typ des Höhenmodells und Eigenschaften der Orthophotoprodukte festgelegt. Daraus lassen sich die Anforderungen an die Ausgangsdaten (Bild, Höhenmodell, Orientierung), die Verarbeitungsprozesse, die Ausgabe und die Prüfung der Geometrie und Radiometrie ableiten. Die projektspezifischen Festlegungen finden ihren Niederschlag in dem Formblatt „Spezifikation von Orthophotoprojekten“.

Summary: *DIN 18740, the German Industry Standard for “Photogrammetric Products”* for analogous, scanned, directly sensed digital imagery and ortho photos, offers a well defined platform for contractors and purchasers to agree to product criteria and therewith supports the increasing requests for product quality.

Today digital ortho photos are used in multipurpose applications with many different expectations from the user to the end product. For ortho production it is mandatory that specific requirements are well defined to ensure that the needed quality can be reached.

Part 3 of DIN 18740 “Photogrammetric Products”, which was published in October 2003, delivers a precise and flexible method to plan and control the final quality of ortho photo products. Based on principle parameters of ground resolution and required planar ortho photo accuracy, the type of the DTM as well as the characteristics of the ortho photo is defined. Based on requirements to the source data such as images, DTM and orientation, quality criteria for the processing, output and geometric or radiometric quality assessment are described. Project specific parameters are denoted in the attached form “Specification of Ortho Photo Projects”.

1 Einleitung

Digitale Orthophotos werden heute in einer Vielzahl von Fachgebieten und mit unterschiedlichsten Ansprüchen eingesetzt. Gerade das breite Einsatzspektrum wirft eine

Reihe von Fragen auf: Wie sind die verschiedenen Orthophotoprodukte und die Anforderungen an deren Bildqualität, Geometrie und Richtigkeit zu definieren? Welche Qualitätsanforderungen an die Ausgangsdaten resultieren daraus? Wie kann die Qualität

geplant und geprüft werden? Wie sollte das Verhältnis zwischen Produktions- und Prüfaufwand sein? Die im Oktober 2003 erschienene Norm DIN 18740-3 „Photogrammetrische Produkte Teil 3: Anforderungen an das Orthophoto“ versucht diese und weitere Fragen zu beantworten. Ein erster Bericht über den Entwurf der Norm wurde in SCHWEBEL (2002) gegeben, erste Erfahrungen in WIGGENHAGEN & WISSMANN (2003) veröffentlicht. Die Norm wurde erarbeitet vom Arbeitsausschuss 03.02 „Photogrammetrie und Fernerkundung“ des „Deutschen Institut für Normung e. V.“. Dem Ausschuss gehören Fachleute aus Bereichen von Industrie, Universitäten, Behörden und Dienstleistungsunternehmen an. Die Zielsetzungen des Ausschusses sind in SCHWEBEL (2002) und DIN 2003 beschrieben.

2 Terminologie

Normen verlangen eindeutige Definitionen der verwendeten Begriffe. Dass die Orthophoto-Terminologie nicht ganz einfach ist, kommt in verschiedenen Fachbeiträgen (z. B. MAYR 2002 und KRAUS 2002) zum Ausdruck. Da die Definition des Begriffs „Orthophoto“ in DIN 18716-1 (DIN 1995) auf das photographische Bild zielt, war es notwendig, für das digitale Orthophoto eine neue Definition einzuführen. Demgemäß ist ein **digitales Orthophoto** ein *digitales Bild, das geometrisch einer orthogonalen Projektion abgebildeter Objekte auf eine Bezugsfläche entspricht*.¹⁾

Mit dieser Definition wird in Übereinstimmung mit KRAUS (2002) ein ideales Orthophoto beschrieben. Das real erzeugbare Orthophoto weicht u. a. in Abhängigkeit vom digitalen Höhen- oder Geländemodell und den verwendeten Algorithmen mehr oder weniger vom idealen Orthophoto ab. Besonders gravierend sind systembedingte Bildverfälschungen (Doppelabbildungen) und Verluste an Bildinformation (sichttote Räume).

Als **Doppelabbildung** wird die *zweifache Abbildung eines Objektes über der Gelände-*

oberfläche bei geländebezogenen Orthophotos bezeichnet.

Sichttoter Raum ist definiert als *durch Abbildungsgeometrie und Objekte bedingte Verdeckung im Bild*. Ein Orthophoto ohne diese Defekte kommt dem idealen Orthophoto nahe und wird in der Literatur als „true Orthophoto“ bezeichnet.

Ein „true Orthophoto“ setzt voraus:

- ein hochqualifiziertes Höhenmodell einschließlich Gebäude,
- sich mehrfach überdeckende Ausgangsbilder und
- Algorithmen zum Auffinden und Auffüllen sichttoter Räume.

Doppelabbildungen lassen sich nur durch ein qualifiziertes Oberflächenmodell vermeiden. Die Qualität von Orthophotos hauptsächlich nach dem verwendeten Höhenmodell zu beurteilen, wird als nicht ausreichend angesehen.

Für die Qualitätsplanung und Prüfung sind weiterhin folgende Begriffe von Bedeutung:

Geometrische Auflösung kennzeichnet die Fähigkeit eines Sensorsystems, Signale von benachbarten Objektstrukturen getrennt zu erfassen (siehe DIN 18716-3). Beim Orthophoto entspricht dies dem kleinsten am Boden zu identifizierenden Objekt.

Bodenpixel: Pixel, dessen Dimension auf das Gelände bezogen ist,

geometrische Restklaffung: Abstand identischer Objekte im Angrenzungsbereich der Orthophotos,

radiometrische Differenz: *Differenz in den Grauwerten identischer Objekte im Angrenzungsbereich benachbarter Orthophotos.*

Die Definitionen in der Norm erheben keinen Anspruch auf absolute „Richtigkeit“. Wesentlich ist, dass sie eindeutig und untereinander stimmig sind.

3 Qualitätsplanung

Wie einleitend erwähnt, sind die Anforderungen an Orthophotos sehr unterschiedlich. Eine Norm kann diesem Umstand nur gerecht werden, wenn das Konzept eine fle-

¹⁾ Zitat aus der Norm in Kursivschrift

xible Qualitätsplanung erlaubt. Demgemäß wurde die Norm nach folgenden Grundsätzen verfasst:

- Die Anforderungen an die *geometrische Auflösung des Orthophotos* und daraus abgeleitet die Größe des Bodenpixels, und an die *geometrische Genauigkeit*, angegeben als Standardabweichung der Lagekoordinaten des Orthophotos, sind voneinander völlig unabhängig;
- Fehler- und Genauigkeitsmaße sind auf das Objektkoordinatensystem bezogen;
- Fehler- und Genauigkeitsmaße für die Eingangsdaten und Prüfkriterien werden von den grundlegenden Parametern abgeleitet;
- Projektorientierte Parameter und Fehlergrenzen (siehe Anhang A „Spezifikation für Orthophotoprojekte“) werden von grundsätzlichen Qualitätsanforderungen (siehe Abschnitt 4 „Allgemeine Anforderungen“) getrennt geführt.

Je nach Anwendungsfall kann z. B. eine hohe Auflösung bei geringem Anspruch an die

Lagegenauigkeit oder hohe Anforderung an beide Eigenschaften verlangt werden.

Die Norm wurde entsprechend dieser Zielsetzung erarbeitet und gliedert sich inhaltlich wie in Tab. 1 dargestellt.

Die für das Orthophoto maßgeblichen Parameter und Festlegungen und die daraus abgeleiteten Größen sind in Tab. 2 zusammengestellt und mit einem Beispiel veranschaulicht.

Neben der geometrischen Auflösung/Bodenpixel, der Standardabweichung und der Bildtiefe ist der Typ des Orthophotos und des Höhenmodells festzulegen. Der Faktor n in Tab. 2 als das Verhältnis des Bodenpixels des Orthophotos zu Pixelabstand im Ausgangsbild – ebenfalls angegeben im Objektsystem – darf aus Qualitätsgründen nicht kleiner als der Wert 1 sein. Der Faktor n hat neben dem Qualitätsaspekt auch eine wirtschaftliche Komponente: Je größer n ist, desto größer muss – bei gleichem Pixelabstand im Bild – der Bildmaßstab sein. Bei gescannten Ausgangsbildern kann der Anwender entweder Bildmaßstab oder Scanauflösung vorgeben. Die abgeleiteten Parameter werden nach den Festlegungen von Abschnitt 4 berechnet. Abweichungen davon, z. B. die Standardabweichung in der Höhe, können in der Projektspezifikation (Anhang A) vereinbart werden.

Tab. 1: Aufbau und Inhalt von DIN 18740-3.

Vorwort
1 Anwendungsbereich
2 Normative Verweisungen
3 Begriffe
4 Allgemeine Anforderungen
4.1 Grundlegende Qualitätsparameter
4.2 Analoges Messbild
4.3 Digitales Messbild
4.4 Digitales Höhenmodell
4.5 Digitales Orthophoto
4.6 True Orthophoto
4.7 Digitales Orthophotomosaik
4.8 Digitale Orthophotokarte
4.9 Speicherung und Ausgabe von Orthophotoproducten
5 Prüfung von Orthophotoproducten
5.1 Allgemeines
5.2 Prüfung von digitalen Orthophotoproducten
5.3 Prüfung von analogen Orthophotoproducten
Anhang A Spezifikation für Orthophotoprojekte
Anhang B Beispiel für die Spezifikation
Anhang C Beispiel eines Prüfberichtes
Stichwortverzeichnis

4 Qualitätssicherung

Die Qualitätssicherung umfasst *alle Tätigkeiten, die innerhalb des QM-Systems erforderlich sind, um ausreichendes Vertrauen zu schaffen, dass eine Einheit die Qualitätsforderung erfüllen wird*²⁾. In DIN 18740-3 ist eine Reihe von Prüfungen vorgesehen, die in der Projektspezifikation von Auftraggeber und Auftragnehmer zu vereinbaren sind und in einem Prüfbericht dokumentiert werden können. Die zulässigen Grenzwerte der Prüfgrößen sind in Abschnitt 5 der Norm in Abhängigkeit von den grundlegenden Parametern festgelegt und z. T. in Tab. 2 aufgeführt.

²⁾ aus EN ISO DIN 8402: 1995; QM-System bedeutet Qualitätsmanagement-System

Tab. 2: Parameter-gesteuerte Qualitätssicherung.

Qualitätskriterium	Beispiel
Grundlegende Parameter und Festlegungen	
g_0 Geometrische Auflösung im Orthophoto	$g_0 = 0,5 \text{ m}$
s_0 Größe des Bodenpixels im Orthophoto $0,3g_0 \leq s_0 \leq 0,5g_0$	$s_0 = 0,2 \text{ m}$
σ_{xy} Standardabweichung Lage im Orthophoto	$\sigma_{xy} = 0,25 \text{ m}$
Bildtiefe	8 bit
Typ des Orthophotos	entsprechend Höhenmodell
Typ Höhenmodell	Geländemodell mit Punkten und Kanten
n $n = s_0/s_g$ (s_g georeferenzierter Bildpixelabstand); $n \leq 1$	$n = 1,2$
s_b Pixelabstand im Bild	$s_b = 21 \mu\text{m}$
Kameratyp	Reihenmesskamera
Abgeleitete Parameter	
M_b Bildmaßstab $M_b = n \times s_b / 10\,000 \times s_0$	$M_b = 1:7940$
h Flughöhe $h = c/M_b$	$h = 1215 \text{ m}$
Standardabweichung von aus Orientierungsdaten berechneten Lagepunkten $\leq 0,5\sigma_{xy}$	$\leq 0,125 \text{ m}$
σ_z Standardabweichung berechneter Höhenpunkte $\sigma_z \leq 2\sigma_{xy}$ (WW)	$\sigma_z \leq 0,5 \text{ m}$
Restklaffung zwischen benachbarten Orthophotos $\leq 3\sigma_{xy}$	$\leq 0,75 \text{ m}$
Radiometrische Differenz im Schnittlinienbereich	≤ 5 Graustufen
Analoge Ausgabe	
M_a Maßstab	$M_a = 1:2500$
s_d Druckraster	$s_d = 65 \text{ L/cm} = 154 \mu\text{m}$
s_a Georeferenzierter Pixelabstand; $s_a > s_0$	$s_a = 0,385 \text{ m}$
Prüfung	
Abweichung GIS-Orthophoto $\leq 3\sigma_{xy}$	$\leq 0,75 \text{ m}$
Abweichung in den Kontrollpunkten $\leq 3\sigma_{xy}$	$\leq 0,75 \text{ m}$

Die geometrische Prüfung umfasst:

- die Überlagerung des Orthophotos mit Karten- oder GIS Daten,
- den Vergleich der georeferenzierten Passpunktkoordinaten im Orthophoto mit den Sollwerten,
- den entsprechenden Vergleich mit Kontrollpunkten und
- bei Orthophotomosaiken die Messung von Restklaffungen.

Der Umfang der Prüfung der Orthophotos sollte zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer in Relation zum Produktionsaufwand in der Projektspezifikation vereinbart werden. Ein wichtiger Parameter dabei ist die Anzahl der Kontrollpunkte. In der Norm ist hierfür ein Wert von $4\sqrt{n}$ vorgegeben; bei einem Block von z. B. 60 Bildern bedeutet dies 31 Kontrollpunkte im Block oder 0,5 Kontrollpunkte pro Bild. Sollte dies

zu viel oder zu wenig sein, kann in der Projektspezifikation eine andere Zahl von Kontrollpunkten vereinbart werden.

Die Wirksamkeit der Prüfverfahren wurde in WIGGENHAGEN & WISSMANN (2003) eindrucksvoll nachgewiesen.

5 Normreihe DIN 18740 „Photogrammetrische Produkte“

Die Norm „Anforderungen an das Orthophoto“ ist ein Teil der Normreihe „Photogrammetrische Produkte“. Diese umfasst:

- Teil 1: „Anforderungen an Bildflug und analoge Luftbilder“ (2001-11),
- Teil 2: „Anforderungen an das gescannte Luftbild“ (Entwurf 2004-5),
- Teil 3: „Anforderungen an das Orthophoto“ (2003-10) und
- Teil 4: „Anforderungen an das digitale Luftbild“ (in Bearbeitung).

Eine Kurzbeschreibung der Normteile 1 bis 3 und die zugehörigen Formblätter für die Projektspezifikationen sind unter www.dgpf.de/Normungsvorhaben aufgeführt.

Teil 4 definiert Qualitätsstandards für digitale Zeilen- und Flächenkameras und die damit direkt erzeugten digitalen Luftbilder.

Generell gilt, dass Normen Empfehlungen sind und in der Regel nicht per Gesetz, sondern auf Grund von Verwaltungsvorschriften oder von Verträgen zwischen Auftraggebern und Auftragnehmern angewendet werden. Die Normreihe „Photogrammetrische Produkte“ bietet den Vertragspartnern die Chance, komplexe Sachverhalte auf einer technisch einwandfreien und flexiblen Basis zu regeln. Dabei können nicht nur die Normen als Ganzes, sondern auch Teile davon zur Anwendung kommen. Die Anwendung als Ganzes wird favorisiert und durch die weitgehende Parametrisierung ermöglicht.

6 Literatur

- DIN, 1997: DIN 18716-3-1997 Photogrammetrie und Fernerkundung – Teil 3: Begriffe der Fernerkundung. – Beuth-Verlag, Berlin
- DIN, 2001: DIN 18740-1 Photogrammetrische Produkte – Teil 1 Anforderungen an Bildflug und analoges Luftbild. – Beuth-Verlag, Berlin.
- DIN, 2003: E DIN 18740-2 Photogrammetrische Produkte – Teil 2 Anforderungen an das gescannte Luftbild. – Beuth-Verlag, Berlin.
- DIN, 2003 Produktinformationen DIN 18740 Photogrammetrische Produkte – www.dgpf.de/Normungsvorhaben
- KRAUS, K., 2002: Zur Orthophoto-Terminologie. – Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation **2002** (6): 451–452
- MAYR, W., 2002: Bemerkungen zum Thema „True Orthoimage“. – Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation **2002** (4): 237–244
- SCHWEBEL, R., 2002: DIN Norm – Entwurf für digitale Orthophotos. – Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation **2002** (4): 304–305
- SCHWEBEL, R., 2002: Deutsche Normung in Photogrammetrie und Fernerkundung aus der Sicht von DIN. – Vortrag DGPF Jahrestagung Neubrandenburg 2002, Bd. 11.
- WIGGENHAGEN, M. & WISSMANN, U., 2003: Untersuchungen zur Prüfung digitaler photogrammetrischer Produkte nach DIN 18740. – Vortrag DGPF Jahrestagung Bochum 2003, Bd. 12.

Anschrift des Verfassers:

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

Manuskript eingereicht: Juni 2004
Angenommen: Juni 2004



Berichte

20. Kongress der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung

vom 12. bis 23. Juli 2004 in Istanbul, Türkei

Die Internationale Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung (ISPRS) und das türkische nationale *Congress Organising Committee* unter Leitung von Kongress-Direktor Prof. ORHAN ALTAN hatten zu dieser großen internationalen Veranstaltung unter dem Motto *GEO-IMAGERY BRIDGING CONTINENTS* nach Istanbul eingeladen.



Prof. J. Trinder, Präsident der ISPRS, eröffnet den Kongress 2004

Und es wurde ein großer Kongress mit zahlreichen interessanten Berichten über viele neue wissenschaftlich-technische Erkenntnisse, mit einer sehenswerten Ausstellung von mehr als 85 Firmen/Institutionen, mit 2450 Teilnehmern aus über 100 Staaten (darunter 700 aus der Türkei, 253 aus Deutschland, 228 aus USA, 145 aus China, 119 aus Japan, 88 aus der Schweiz, 81 aus Kanada, 78 aus Italien u. v. a. m.). Insgesamt wurden 1718 Paper vorgetragen bzw. als Poster präsentiert.

Der XX. Kongress der ISPRS wurde im modernen, alle Erwartungen erfüllenden Kongress- und Ausstellungszentrum in Istanbul-Harbiye, auf der europäischen Seite des Bosphorus durchgeführt.

Eröffnungsveranstaltung

In einer festlichen Eröffnungszeremonie am Nachmittag des 14. Juli in Anwesenheit von viel Prominenz aus der Regierung und Gesellschaft der Türkei wurden die Teilnehmer herzlich begrüßt und eingestimmt auf die be-

vorstehenden fachlichen und kulturellen Höhepunkte des Kongresses.

Schon diese erste Veranstaltung war ein Erlebnis besonderer Art, speziell der kulturelle Teil mit der mitreißenden Tanzvorführung „Das Feuer Anatoliens“ war ein Genuss.

Bei dieser Eröffnungsveranstaltung wurden besonders verdienstvolle Mitglieder der ISPRS ausgezeichnet:

- Die *Brock-Goldmedaille* erhielt KRISHNASWAMY KASTURIRARGAN, Indien.



„Das Feuer Anatoliens“.

- Der *Otto von Gruber-Preis* wurde überreicht an Dr. STEPHEN HEUEL, Schweiz (siehe auch PFG 4/2004, S. 338).
- Der *U. W. Helava Preis* ging an CHANGUO LEE, Südkorea und JAMES S. BETHEL, USA.
- LAWRENCE W. FRITZ wurde vorgeschlagen und durch Akklamation bestätigt als neues *Ehrenmitglied der ISPRS*.

Plenarvorträge

Die Veranstalter hatten insgesamt neun Redner zu Festvorträgen in drei Plenarsitzungen eingeladen. In der Reihenfolge Ihres Auftretens sprachen:

- ARMIN GRÜN, ETH Zürich: Der Vortragende rief dazu auf, das konventionelle Denken in Photogrammetrie/Fernerkundung zu verlassen und sich mehr den aktuellen Erfordernissen anzupassen: „Von der 2,5D-Kartierung zur 3D-Modellierung!“
- MARTIN SWEETING, Uni of Surrey: „Die existierenden Erdbeobachtungs-Satelliten sind zu teuer! Also hin zu Nano- und Mikrosatelliten wie Rapid Eye“.
- JACK DANGERMOND, ESRI: „Geographisches Wissen“.
- GERD HIRZINGER, DLR: „Von der Robotertechnik zur Multisensor 3D-Modellierung“; Robot Vision und Photogrammetrie haben sich unabhängig voneinander entwickelt. Sie sollten jetzt stärker kombiniert werden, um noch leistungsfähiger zu werden.
- PETER WOODSFORD, EuroSDR, UK: Die e-Sciences sind überall im Wachsen; wir brauchen leistungsfähigere Rechenstationen und eine bessere Organisation der Prozesse; von Tera zu Peta Bytes.
- GHASSEM ASRAR, NASA: „NASA's Earth Science Enterprise: Understanding and Protecting our Home Planet“.
- MARTIEN MOLENAAR, ITC: „Capacity Building for the Global Geo-Information Community“; das ITC hat in 50 Jahren 15.500 Studenten aus 164 Ländern ausgebildet; um den verstärkten Bedarf an Fachkräften für GeoInformation zu be-

friedigen, werden die Filialen des ITC in Ägypten, Bolivien, China, Indien, Iran und auf den Philippinen ausgebaut und weitere geschaffen.

- STEVE SQUYRES, NASA: Bild- und Textbericht über neue wissenschaftliche Ergebnisse der Mars Exploration Rover Mission.
- GERHARD NEUKUM, FU Berlin: Als Principal Investigator leitet er die Gruppe von etwa 50 Wissenschaftlern aus 10 Ländern, die die HRSC-Bilddaten von der ESA Mars Express Mission auswertet; gezeigt wurden zahlreiche Bilder von der Mars-Oberfläche mit hervorragender Bildqualität und mit vielen interessanten Objekten.

General Assembly

Mit insgesamt 13 Stunden Beratungen des Council mit den Delegierten der 103 Mitgliedsländer der ISPRS wurden die Fragen der Organisation, der Finanzen und der Leitung der Gremien beraten und Beschlüsse gefasst.

- Als Austragungsort für den XXI. Internationalen Kongress der ISPRS vom 14. bis 25. 7. 2008 wurde Beijing, China gewählt. In geheimer Abstimmung entfielen auf Beijing 135 Stimmen. Der Mitbewerber Melbourne erhielt 25 Stimmen. Kongress-Direktor für Beijing ist Prof. JUN CHEN (siehe Tab. 1).
- Bei geheimer Abstimmung über einen Vorschlag der Österreichischen Gesellschaft für Vermessung und Geoinformation zur Verlegung des Ortes für die juristische Registrierung der ISPRS und des Standortes der ISPRS-Stiftung von Maryland/USA nach Wien/Österreich entfie-



Logo für den ISPRS-Kongress 2008.

Tabelle 1

ISPRS 2004–2008 Vorstand und Präsidenten der Technischen Kommissionen	
Präsident:	Prof. Ian J. DOWMAN, GBR, idowman@ge.ucl.ac.uk
1. Vizepräsident:	Prof. John C. TRINDER, AUS, j.trinder@unsw.edu.au
2. Vizepräsident:	Dr. Emmanuel BALTSAVIAS, CHE, manos@geod.baug.ethz.ch
Generalsekretär:	Prof. M. Orhan ALTAN, TUR, oaltan@srv.ins.itu.edu.tr
Schatzmeister:	Stanley A. MORAIN, USA, smorain@edac.unm.edu
Kongressdirektor:	Prof. Jun CHEN, CHN, chenjun@nsdi.gov.cn
Kom.I:	Image Data Acquisition-Sensors and Platforms (Bilddaten-Gewinnung, Sensoren und Plattformen) Präsident: Alain BAUDOIN, FRA, sftp@ensg.ign.fr
Kom.II:	Theory and Concepts of Spatio-temporal Data Handling and Information (Theorie und Konzepte zur raum- und zeitbezogenen Datenverarbeitung und Information) Präsident: Prof. Wolfgang KAINZ, AUT, office@ovg.at
Kom.III:	Photogrammetric Computer Vision and Image Analysis (Photogrammetrische Computer-Vision und Bildanalyse) Präsident: Prof. Wolfgang FÖRSTNER, D, wf@ipb.uni-bonn.de
Kom.IV:	Geodatabases and Digital Mapping (Geodatenbanken und Digitale Kartierung) Präsident: Dr. Shailesh NAYAK, IND, director@nrsga.gov.in
Kom.V:	Close-Range Sensing — Analysis and Applications (Nahbereichsverfahren zur Datengewinnung, Analyse und Anwendung) Präs.: Prof. Hans-Gerd MAAS, D, hmaas@rscs1.urz.tu-dresden.de
Kom.VI:	Education and Outreach (Ausbildung und Kommunikation) Präsident: Dr. Kohei CHO, JPN, cho@yoyogi.ycc.u-tokai.ac.jp
Kom.VII:	Thematic Processing, Modeling and Analysis of Remotely Sensed Data (Thematische Verarbeitung, Modellierung und Analyse von Fernerkundungs-Daten) Präsident: Prof. John van GENDEREN, NLD, genderen@itc.nl
Kom.VIII:	Remote Sensing Applications and Policies (Anwendungen und Ziele der Fernerkundung) Präsident: Dr. Ammatzia PELED, ISR, peled@geo.haifa.ac.il

len 104 Stimmen auf die Beibehaltung und 40 auf die Verlegung (siehe auch PFG 2/2004, S. 153).

- Für alle acht Technischen Kommissionen der ISPRS gab es in Istanbul nur je einen Bewerber für die Periode 2004–2008. Deshalb wurden die Bewerber einzeln durch Akklamation bestätigt (Tab. 1).
- Die Generalversammlung bestätigte auch durch Akklamation die Besetzung der einzelnen Positionen im Vorstand (Tab. 1).
- Von den bisher insgesamt 103 Ordentlichen Mitgliedern der ISPRS wurden in Istanbul von der Generalversammlung 13 ausgeschlossen, weil sie fünf und mehr Jahre ihre Beiträge nicht entrichtet und auf alle Anfragen nicht geantwortet hatten.

- Für die Arbeit in den nunmehr acht Technischen Kommissionen der ISPRS und in den Arbeitsgruppen im Zeitraum von 2004 bis 2008 wurden von der Generalversammlung 66 Resolutionen als Programm verabschiedet.

Kolloquium „Prof. ARMIN GRÜN zum 60. Geburtstag“

Das Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Zürich und die Yildiz Technical University Istanbul hatten für Sonntag, den 18. Juli eingeladen zu einem Festkolloquium mit anschließender Geburtstagsfeier zu Ehren von ARMIN GRÜN. Etwa 100 Gäste waren dieser Einladung gefolgt.

Nach einer Reihe von Fachvorträgen über die Spezialgebiete, auf denen ARMIN GRÜN erfolgreich tätig war oder noch ist, folgten Beiträge mit Erinnerungen an viele wichtige und interessante Aktivitäten, Veranstaltungen und Begebenheiten.

In einer Festschrift „Commemorative Volume for the 60th Birthday of Prof. Dr. ARMIN GRÜN“, 284 S., mit einem Vorwort von Dr. EMMANUEL BALTSAVIAS, herausgegeben von ETH Zürich, Institute of Geodesy and Photogrammetry, 2004, sind diese Vorträge und noch viel mehr nachzulesen und zu betrachten.

Auch diese, in den ISPRS-Kongress eingelagerte Veranstaltung, war außerordentlich informativ und bot vielfältige Gelegenheiten zum Erfahrungsaustausch und zu Kontakten auf internationalem Niveau.

Kulturelles Rahmenprogramm

Die türkischen Gastgeber dieses Kongresses haben den Teilnehmern zur Entspannung und zum Kennenlernen von Land und Leuten ein umfangreiches kulturelles und touristisches Rahmenprogramm geboten. Es reichte von der *Welcome Reception* (14. 7.) über die *Fun Night (mit Bauchtänzerin)* am 15. 7., *Dinner Cruise on the Bosphorus (Istanbul bei Nacht, vom Wasser aus gesehen)*, 16. 7., *Exhibitors Reception* (19. 7.), *Castle Party at Rumelihisan (mit tanzenden Derwischen)*, 20. 7., bis zum glanzvollen *Gala Dinner* im prächtigen *Dolmabahçe Palast* am 22. 7.

Wer es wollte, der konnte darüber hinaus zahlreiche *Technical Tours* buchen oder *Optional Tours* für Reisen in andere Teile des Landes.

Während des Gala Dinner wurden folgenden Preise verliehen:

- Den *Gino Cassinis Preis* erhielt SHERMAN S. C. WU, USA.
- Der *Eduard Dolezal Preis* ging an Dr. JIANG JIE, China.
- Mit der von der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) gestifteten *Schwedfsky-Medaille* wurden ausgezeichnet: Dr. EMMANUEL BALTSAVIAS,

Schweiz und Prof. Dr. ZHILIN LI, China (siehe auch PFG 4/2004, S. 339/340).

- Den *Willem Schermerhorn Preis* erhielt Dr. MARGUERITE MADDEN, USA.
- Der *Samuel Gamble Preis* 2004 wurde vergeben an RAY HARRIS, UK, HAGGAI NYALOPA, Kenya und VICTOR SAVINYKH, Russland.

Abschlussveranstaltung

In einer zusammenfassenden Schlussitzung am 23. Juli konnte vom Kongress-Direktor Prof. ORHAN ALTAN und auch vom auscheidenden Präsidenten Prof. JOHN TRINDER eine sehr positive Bilanz dieses ISPRS-Kongresses gezogen werden:

- Es sind zahlreiche neue oder weiterentwickelte Geräte und Verfahren vorgestellt worden.
- Neue Anwendungsgebiete und effektivere Lösungen für Photogrammetrie, Fernerkundung und Digitale Raumdaten sind gefunden oder erschlossen worden.
- Der Kongress war gekennzeichnet durch die aktive Mitwirkung vieler junger Menschen mit Vorträgen und Erfolg versprechenden Ideen für die Zukunft.
- Die konkreten wissenschaftlich-technischen Aufgaben für alle Arbeitsgruppen und Kommissionen für den Zeitraum bis 2008 sind in 66 Resolutionen festgelegt worden.
- Die Generalversammlung der ISPRS hat alle erforderlichen personellen und organisatorischen Festlegungen beraten und verabschiedet.
- Bei der Abschlussveranstaltung übergab der Präsident Ehrenurkunden an besonders erfolgreiche und aktive Arbeitsgruppenleiter oder deren Stellvertreter. Von den sieben Ehrenurkunden für die sieben Kommissionen (2000–2004) entfielen allein vier auf deutsche Teilnehmer: Kom. I: Dr. KARSTEN JACOBSEN, Kom. II: Prof. CHRISTIAN HEIPKE, Kom. III: Prof. HELMUT MAYER und Kom. IV: Prof. MONIKA SESTER.

Den CATCON-Preis (Computer Assisted Teaching Contest) in Gold erhielt JONATHAN

HAIG, Uni Hannover. Die Auszeichnung in Silber ging an die ETH Zürich und die in Bronze an das Institute for Space Applications and Geoinformatics of India.

Preise für „Best Poster“ erhielten u. a. M. F. BUCHROITHNER, O. WÄLDER, B. KÖNIG, T. GRÜNDEMANN, G. NEUKUM und K. HABERMANN sowie C. KATTERFELD und M. SESTER.

Der ausscheidende Präsident der ISPRS, Prof. JOHN TRINDER, Australien, übergab die Amtskette als äußeres Symbol der Leitfunktion an den in Istanbul neu gewählten Präsidenten Prof. IAN DOWMAN, Großbritannien.

Die Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) e. V. hat für 2004–2008 die Verantwortung und die Leitung von zwei der nun insgesamt acht Kommissionen der ISPRS übertragen bekommen (Tab. 1). Das ist eine hohe internationale Anerkennung und Würdigung der deutschen Leistungen auf diesem Gebiet. Damit ergeben sich viele Einfluss- und Entfaltungsmöglichkeiten, aber damit ist auch viel Verantwortung und Arbeitsaufwand verbunden.

KLAUS SZANGOLIES, Jena

Bericht über die Geräte-, Firmen- und Kartenausstellung auf dem XX. ISPRS Kongress

Der alle vier Jahre stattfindende ISPRS-Kongress dient nicht nur den Wissenschaftlern der Bereiche Photogrammetrie und Fernerkundung als Plattform zum Wissensaustausch. Traditionell präsentieren sich auch private Unternehmen, um über ihre Produkte und neue Entwicklungen zu informieren. Gleichzeitig werden Verbindungen zwischen Forschung und Anwendung geknüpft beziehungsweise gestärkt.

Auch auf diesem ISPRS Kongress ließen es sich viele namhafte Firmen nicht nehmen, sich dem fachkundigen Publikum zu präsentieren. Insgesamt waren mehr als 85 Aussteller vertreten, darunter traditionelle Unternehmen wie Leica Geosystems, Z/I Imaging (Intergraph) und INPHO GmbH. Aber auch junge Unternehmen wie Geoiconics präsentierten sich mit neuen Ideen und innovativen Produkten. Des Weiteren stellten sich aber auch Behörden wie das Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) sowie Fachorganisationen den Besuchern vor.

1 Airborne Laserscanner

Im stark expandierenden Markt des Airborne Laserscannings waren viele renommierte Anbieter von Systemen und daraus abgeleiteten Produkten vertreten. Stellvertretend

seien die Firmen Toposys, IGI und Optech genannt.

Letztere Firma, die sich mit Entwicklung, Produktion und Vertrieb von Airborne-Laserscanner-Systemen beschäftigt, präsentierte die neueste Generation ihres ALS-Systems, den ALTM 3100 (Abb. 1). Mit diesem System können bis zu 100.000 Laserpulse pro Sekunde (bei maximaler Flughöhe von 1100 m) ausgesandt, empfangen und ausgewertet werden. Bei maximaler Flughöhe von 3500 m beträgt die Laserpulsrate immerhin noch 33 kHz. Der ALTM 3100 ist im Flughöhenbereich von 80 m bis 3500 m variabel einsetzbar.



Abb. 1: Das ALS-System ALTM 3100 (von links nach rechts: Control Rack, Sensor).

Optech plant für September 2004 die abschließende Entwicklung und den Vertrieb des sogenannten „Intelligent Waveform Digitizer“. Dieses Zusatzgerät ermöglicht es, das empfangene Pulssignal mit einer Auflösung von 8 bit bei einer Digitalisierintervallrate von 1 nsec aufzuzeichnen. Während für Standardkunden, die sich für das reguläre Endprodukt, ein hochgenaues, regelmäßig gerastertes DGM interessieren, diese zusätzliche Information prinzipiell unwichtig erscheint, bieten sich für die Forschung neue Möglichkeiten. Unter Berücksichtigung der Befliegungs- und sonstiger Parameter können Rückschlüsse auf die illuminierte Oberfläche (z. B. Oberflächenbeschaffenheit, Material) getroffen werden. Denkbar ist zudem, die Erkenntnisse bezüglich der aufgemessenen Oberfläche bei der Filterung der Oberflächenpunkte aus den undifferenzierten Massepunkten zu verwenden.

2 Terrestrische Laserscanner

Die Firma Leica Geosystems präsentierte neben einer Reihe von Produkten im Bereich von Photogrammetrie und Fernerkundung den terrestrischen Laserscanner HDS 3000 (siehe Abb. 2). Der HDS 3000 kann Messungen in einem Zenitwinkelbereich von 0° bis 135° durchführen. Dies ist möglich durch den Einbau von zwei „Fenstern“ (Hauptfenster und oberes Fenster), aus denen der Laserpuls, abgelenkt durch eine Spiegelkonstruktion, austreten kann. Das System ist optimal einsetzbar in einem Ent-

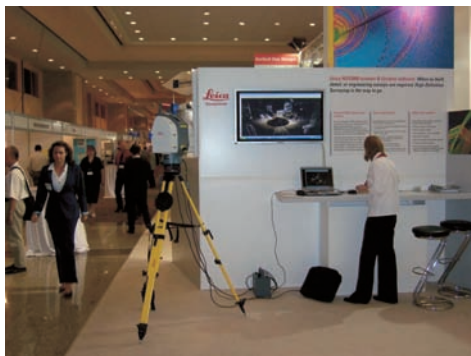


Abb. 2: Der terrestrische Laserscanner HDS 3000.

fernungsbereich von 1 m–100 m. Die Standardabweichung der Entfernungsmessgenauigkeit beträgt 4 mm, die Standardabweichung der Winkelmessgenauigkeit (horizontal und vertikal) 60 μ m. Weiterhin ist eine Farb-Digitalkamera in das System integriert. Die digitalen Bilder können zum einen für die Bestimmung des aufzumessenden Bereichs zum anderen für die Überlagerung von Laserpunkt und Bildinformation an der entsprechenden Stelle genutzt werden.

Die neueste Generation von terrestrischen Laserscannern der Firma Leica Geosystems, der HDS 4500 wurde leider nicht auf der Ausstellung vorgestellt. Dieses System arbeitet nicht wie der HDS 3000 auf der Basis der Laufzeitmessung von Laserpulsen, sondern nach dem Vergleichsphasenprinzip. Es ist in der Lage, bis zu 500.000 Punkte pro Sekunde zu messen (HDS 3000: 1.800 Punkte pro Sekunde).

Neben dem HDS 3000 wurde auch die neueste Softwaregeneration zur Verarbeitung der Laserscannerdaten vorgestellt. Verfügbar sind nun die Softwarepakete Cyclone 5.1 und Cloud Worx 3.0. Die Software Cyclone 5.1, bestehend aus 6 Modulen, umfasst den gesamten Prozess der Datenerfassung, Georeferenzierung, Verarbeitung, Analyse und Ausgabe. Dem Anwender stehen eine Reihe von Verarbeitungsfunktionen wie 3D Modellierung, Flächenrekonstruktion, Verschnidungen etc. zur Verfügung. Anschließend können die Daten in verschiedener Form ausgegeben werden, z. B. als 2D Karte, Fassadenansichten oder Rohrleitungskarten.

Die Software Cloud Worx 3.0 wird als Applikationslösung für AutoCad eingesetzt. Somit ist es möglich, innerhalb der AutoCad-Umgebung die großen Laserscannerpunktmengen zu visualisieren und zu verarbeiten.

3 Neue Ideen und innovative Produkte

Eine äußerst verblüffende Idee mit ersten abgeleiteten Produkten stellte die Firma Geoiconics aus Torrance, USA vor. Kern der Produkte ist die Analyse der Augen des



Abb. 3: Vorführung des Geoiconics-Systems durch den Geschäftsführer der Firma Geoiconics – Gennady Gienko (rechts).

Operateurs bei der Wahrnehmung von Mono- oder Stereobildern am Bildschirm. Mit Hilfe zweier Videokameras sowie einer Brille (ausgestattet mit Messmarken) wird nach erfolgter Kalibrierung jeweils für jedes Auge die Position des Pupillenzentrums in Relation zu den Passmarken auf der Brille im jeweiligen Videobild ermittelt. Daraus lässt sich der vom Auge fixierte Punkt auf dem Bildschirm berechnen.

Zum Zeitpunkt der Ausstellung waren fünf Module der i-Grammetry Produktfamilie erhältlich. So kann zum Beispiel das Modul i-Measure für die stereoskopische

Messung eingesetzt werden. Die von dem Augenpaar fixierten Punkte im Bild werden mit Hilfe der relativen Orientierung in 3D-Modellkoordinaten umgerechnet und gespeichert. Die erfassten Daten können mit weiteren Funktionen des Moduls bearbeitet und an gängige Standard-Software abgegeben werden. Ein weiteres Beispiel für die Vielzahl von möglichen Anwendungen bietet das Modul i-Map. Der Operateur betrachtet eine Karte. Lenkt er die Aufmerksamkeit auf eine bestimmte Stelle in der Karte, so wird dieser Bereich vergrößert und geschärft. Der umgebende Randbereich kann getrübt beziehungsweise ausgeblendet werden. Zusätzlich ist es möglich, einen Layer zu erstellen, der die unterschiedliche Priorität (in Abhängigkeit von der Verweildauer) bei der Betrachtung der Karte widerspiegelt.

Insgesamt steckt die Entwicklung von Produkten, die sich der Technik des Eye-Tracking bedienen, noch im Anfangsstadium. Es wird aber intensiv an der Weiter- und Neuentwicklung gearbeitet, so dass in näherer Zukunft mit weiteren innovativen Anwendungen dieses Verfahrens zu rechnen ist.

ALEXANDER BRZANK, Hannover

Kommission I: Sensoren, Plattformen und Bilder (Sensors, Platforms and Imagery)

Die Kommission I war unter der Leitung ihres bisherigen Präsidenten STAN MORAIN (USA) im letzten Jahr vor dem Istanbul Kongress mit zwei durchgeführten Vorhaben recht aktiv. Diese beiden Vorhaben, die Etablierung einer „Joint CEOS/ ISPRS Task Force on Radiometric and Geometric Calibration“ und die Durchführung des „SPOT-5/HRS Scientific Assessment Program (HRS-SAP)“, fanden deshalb auch ihren Niederschlag in den technischen Sitzungen der Kommission I.

Zur Gründung der Joint CEOS/ ISPRS Task Force wurde im Dezember 2003 ein

dreitägiger Workshop zum Thema „*Radiometric and Geometric Calibration*“ in Gulfport, Mississippi (USA) abgehalten. Die Ergebnisse dieses Workshops sind in einem Buch mit dem Titel „*Post-Launch Calibration of Satellite Sensors*“ zusammengefasst, das druckfrisch zum Kongress in der ISPRS-Book Serie als Volume 2 erschien und von STAN MORAIN als Herausgeber in einer speziellen Sitzung vorgestellt wurde. Das Buch umfasst 18 peer-reviewed Artikel von Kalibrations-Experten und kann den an Kalibrationsfragen Interessierten zum Studium empfohlen werden.

Für das HRS-SAP hatte die französische Raumfahrtagentur CNES Stereo-Bilder der HRS-Kamera von 9 ausgewählten Testgebieten im Sommer 2003 zur Verfügung gestellt. Die Untersuchungen in jedem Testgebiet wurden von einem Principal Investigator, der auch die Ground Control-Daten zur Verfügung stellen musste, und mehreren „Co-Investigatoren“ durchgeführt. Insgesamt beteiligten sich 29 Wissenschaftler an den Untersuchungen. Die Koordination des Programms erfolgte in Kooperation von ISPRS-Kommission I mit CNES/ SPOT-IMAGE. Das Ziel war, die Eignung von HRS-Daten für die Erzeugung von digitalen Höhenmodellen zu untersuchen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen wurden in drei technischen- und einer Postersitzung mit insgesamt 24 Beiträgen präsentiert. Das Resultat lässt sich folgendermaßen zusammenfassen: Die Bilddaten und die mitgelieferten Zusatzdaten (innere und äußere Orientierung) sind so gut, dass man ohne Passpunkte eine mittlere absolute Genauigkeit (bias) von ca. 10 m in der Höhe erreicht. Die relative Genauigkeit der Höhenmodelle liegt je nach Geländetyp und Oberflächenklasse bei 3–8 m. Mit wenigen Passpunkten, teilweise schon mit einem, lässt sich der bias auf nahe Null bringen.

Zwei weitere spezielle Sitzungen waren ebenfalls dem Satelliten SPOT-5 gewidmet. Darin wurden „*Results of the International SPOT-5 Validation Program*“ vorgestellt. Hierbei ging es um die Anwendung der Aufnahmen der hoch auflösenden und multispektralen HRS-Kameras für verschiedene geowissenschaftliche Anwendungen.

Auf dem Kamerasektor wurden während des „Amsterdam Kongresses“ vor vier Jahren mit der **ADS 40** von Leica Geosystems und der **DMC** von INTERGRAPH zum ersten Mal großformatige digitale Luftbildkameras vorgestellt. Waren diese Kameras damals z. T. noch Prototypen und wenig erprobt, so sind sie inzwischen technisch ausgereifter und auch vom Kunden „angenommen“.

Neben diesen beiden Kamerasystemen war auf der Firmenaustellung als dritte großformatige Digitalkamera die **UltraCam D** der Fa. Vexcel zu besichtigen, die im Jahr

2003 auf den Markt kam. Ähnlich wie bei der DMC werden jeweils vier Objektive für panchromatisch hoch aufgelöste und für geringer aufgelöste Farb- und Falschfarbenaufnahmen eingesetzt. Als Detektoren werden Flächen-CCDs verwandt. Das panchromatische Bild besteht aus $11.5 \text{ k} \times 7.5 \text{ k}$ Bildelementen der Größe $9 \mu\text{m} \times 9 \mu\text{m}$. Alle drei Hersteller gaben an, inzwischen jeweils zwischen 10 und 20 Kameras verkauft zu haben.

Als vierte digitale Großformatkamera wurde von der Fa. Wehrli die Drei-Zeilen Stereokamera (**3-DAS-1**), die nach dem pushbroom Prinzip mit drei Objektiven (senkrecht, vorwärts, rückwärts blickend) funktioniert, vorgeführt. Als Detektoren werden lineare CCD-Farbarrays mit jeweils 8032 Elementen verwandt. Diese Kamera kam frisch aus dem Entwicklungslabor und muss ihre Marktreife noch unter Beweis stellen. Über alle vier großformatigen Kamerasysteme wurde in den technischen Sitzungen ausführlich berichtet. Vorgetragen wurde weiterhin über eine Drei-Zeilen Kamera mit nur einem Objektiv, dem **STARIMAGER**, der in Kooperation der Universitäten Tokio und ETH Zürich für großmassstäbige Anwendungen vom Hubschrauber aus entwickelt wurde. Es werden lineare CCDs mit 10200 Elementen eingesetzt.

Auf dem Sektor digitale Mittelformat Kameras für den Luftbildeinsatz als preiswerte Alternative zu den teureren großformatigen Kameras hätte man sich mehr Präsentationen gewünscht. Als Beispiele für solche Kameras seien hier die DIMAC von DIMAC Systems (Luxemburg) und die DigiCAM-Serie von IGI (Deutschland) erwähnt. Die DIMAC verwendet einen 22 Mpixel Farbchip von Kodak, benutzt einen Piezo-Antrieb für die Bewegungskompensation und kann alle 2 Sek. eine Aufnahme machen. Bis zu vier Kameramodule können in einer stabilisierten Kameraaufhängung zur Vergrößerung der Aufnahmefläche kombiniert werden. Die DigiCAMs von IGI basieren auf digitalen Kameras von Rolle mit 14 und 22 Mpixel Kodak-Detektoren und werden angeboten mit integriertem „IGI aircraft guidance and sensor management system“. Auch hier können mehrere Kameras modu-

lar zu einem System zusammengesetzt werden, des Weiteren ist die Integration eines Laser Scanners vorgesehen.

Bezüglich der Satellitensensoren bezogen sich die Vorträge in Kommission I auf die geometrische Kalibrierung und auf die Analyse der Bildqualität. Behandelt wurden die Satelliten OrbView-3 (USA, Start 2003), SPOT-5 (Frankreich, Start 2002), ALOS mit dem Stereo Sensor PRISM (Japan, geplanter Start 2005) und CBERS-1/2 (China, Brasilien, Start 1999, 2003). Erwähnenswert, dass sowohl für SPOT-5 als auch für OrbView-3 Passpunkt-Testfelder eingerichtet wurden, die zur geometrischen Kalibration und zur Kontrolle der geometrischen Stabilität genutzt werden. Ein weiteres Thema, Satellitensensoren betreffend, das sowohl in Sitzungen über Kalibration als auch in Sitzungen über direkte Georeferenzierung behandelt wurde, war die Nutzung von hoch aufgelösten Satellitenbildern für die Erzeugung von Orthophotos für verschiedene Geländetypen und mit unterschiedlichen Georeferenzierungsmethoden. Die dabei erreichte Genauigkeit hängt im Wesentlichen von der Qualität der verwendeten Passpunkte ab. Das Thema „direkte Georeferenzierung“ umfasste selbstverständlich auch die inflight-Kalibrierung von Luftbild- und CCD-Zeilen-Kameras sowie die Nutzung von INS/ GPS für die Aufgabe der Bestimmung der Parameter der äußeren Orientierung; ca. 10 Präsentationen wurden hierzu gegeben.

Das Zukunftsthema „Kleinsatelliten für die Erdbeobachtung“ wurde nur am Rande angesprochen und zwar durch zwei Übersichtsvorträge, einer über die generellen technischen Möglichkeiten von Kleinsatelliten für hoch auflösende Kartierung und der andere konkreter über das geplante französische/italienische Satellitenprogramm „Pléiades“.

Insgesamt war Kommission I am Kongress mit 15 technischen- und 6 Postersit-

zungen beteiligt. 99 der dort gegebenen Präsentationen sind in dem 568-seitigen Band I der Proceedings abgedruckt, davon 15 mit Beteiligung deutscher Autoren.

Zum Kommissionspräsidenten für die nächsten vier Jahre wurde ALAIN BAUDOIN (CNES, Frankreich) gewählt. Als Leitlinien für die Arbeit der Kommission I für die nächste Periode hat der Kongress zehn *Resolutions* verabschiedet, die folgende Themen umfassen:

- 1 Unpiloted Aerial Vehicles,
- 2 Methods for Characterizing Radiometric and Geometric Sensor Calibration Parameters,
- 3 Geometric Handling of Space Images,
- 4 Advanced Satellite Imaging Systems,
- 5 DTM Data Acquisition Quality,
- 6 Platform and Orientation Integration,
- 7 Handbook of Internet Website Information for Sensors and Platforms,
- 8 The Robot as Sensor Platform,
- 9 Small Earth Observing Satellites and
- 10 Integrated Mobile and Multi-Sensor Mapping Systems.

Diese Resolutionen sind die Grundlage für die Bildung von Arbeitsgruppen. Nach ersten Diskussionen in Istanbul zeichnete sich ab, dass es voraussichtlich die folgenden sechs Arbeitsgruppen der Kommission I geben wird: Standards, Calibration and Validation; SAR and LIDAR Systems; Advanced Sensing and Sensor Networks; Aerial Digital Photogrammetric Sensors; Handling of Space Images and Sensors for DTM Generation; Integrated Systems for Mobile Mapping (als Intercommission WG I/V). Die endgültige Entscheidung über die Einrichtung dieser Arbeitsgruppen wird vom ISPRS Council auf seiner Herbstsitzung gefällt.

MANFRED SCHROEDER, Oberpfaffenhofen

Kommission II: Systeme zur Verarbeitung, Analyse und Darstellung von Daten (Systems for Data Processing, Analysis and Representation)

Die Kommission II war mit 176 von insgesamt 1718 Beiträgen verschiedener Autoren auf dem Kongress in Istanbul vertreten. Insgesamt gab es 10 Technische Sitzungen mit 38 Vorträgen und 7 Postersitzungen mit 138 Beiträgen, wobei sehr viele der Beiträge SAR orientiert waren. Deutlich wurde auch der Fortschritt, der in den letzten 4 Jahren im Bereich der semiautomatischen Merkmalsextraktion gemacht wurde. Ein wenig negativ fiel auf, dass fast in allen Postersitzungen ca. 40% der Vortragenden nicht erschienen waren.

Auf einem Business Meeting wurden u. a. die Aktivitäten der Kommission II in den letzten 4 Jahren beraten. Die Arbeiten sind den Aktivitäten der 7 Arbeitsgruppen (WG) zuzuordnen, die auf diesem Kongress folgende Ergebnisse beisteuerten:

WG II/1 – Real-time mapping technologies (4 Vorträge, 16 Poster),

WG II/2 – Systems for SAR and LIDAR Processing (5 Vorträge, 25 Poster),

WG II/3 – Integrated Systems for spatial data management (4 Vorträge, 17 Poster),

WG II/4 – Image data standards (4 Vorträge, 23 Poster),

WG II/5 – Design and operation of spatial decision support systems (6 Vorträge, 11 Poster),

WG II/6 – Spatial analysis and visualisation systems (6 Vorträge, 16 Poster) und

ICWG II/IV – Automated geospatial data production and updating from imagery (9 Vorträge, 53 Poster).

Herauszuheben sind dabei die Übersichtsvorträge von I. DOWMAN (Integration of LIDAR and IFSAR for Mapping), L. DI (Distributed Geospatial Information Services, Architectures, Standards and Research Issues), H. KNOOP (Standardized Geoinformation – A Tool of Global Infrastructure), H. MAYER (Object Extraction for Digital Photogrammetric Workstations), P. AGOURIS (Change Detection and Updating of Geo-Databases) und P. WOODSFORD (System Architecture for Integrating GIS and

Photogrammetric Data Acquisition), die einen umfassenden Einblick in die Arbeiten der Kommission II vermitteln.

Die Kommission und ihre Arbeitsgruppen haben in den letzten 4 Jahren insgesamt 17 Konferenzen/Workshops organisiert oder daran mitgewirkt. Von den Beiträgen der Workshops wurden insgesamt 30 „peer-reviewed“ und als erstes Buch der ISPRS-Buchserie im Jahr 2003 herausgegeben (LI, Z., ZHOU, Q. & KAINZ, W. im Swets & Zeitlinger Verlag, Lisse, Niederlande). Des Weiteren wurden mehrere Sonderausgaben des ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing mit Themen der Kommission in den letzten 4 Jahren publiziert.

Folgende Auszeichnungen wurden an Mitglieder der Kommission II verliehen:

- Mit der *Schwidewsky Medaille* der ISPRS wurde der Arbeitsgruppenleiter II/6, Prof. Dr. ZHILIN LI ausgezeichnet.
- Der *Eduard Dolezal Award* wurde an Frau Dr. JIANG JIE, als wissenschaftliche Sekretärin der ISPRS Kommission II verliehen
- Prof. Dr. CHRISTIAN HEIPKE wurde mit der „*Presidential Citation*“ ausgezeichnet.

Bedingt durch die Änderung der Anzahl der Kommissionen der ISPRS (8 statt bisher 7) sind die Arbeiten der ISPRS nunmehr so gruppiert, dass die Kommissionen III und V sich schwerpunktmäßig mit Photogrammetrie, II und IV mit Spatial data management, VII und VIII mit der Fernerkundung und I und VI mit Datenakquisition, Ausbildung und Beratung beschäftigen. Damit wird der Schwerpunkt der Arbeiten der Kommission II in Zukunft mehr in Richtung GIS-bezogener Algorithmen liegen, während die GIS-Anwendungen mehr in die Kommission IV einfließen werden.

Nach der Wahl Chinas mit Peking als nächsten Kongressort im Jahr 2008, wird der bisherige Kommissionspräsident Prof. CHEN JUN der neue Kongressdirektor sein. Als sein Nachfolger in Kommission II wurde Prof. WOLFGANG KAINZ, Österreich gewählt.

Die Aufgabenbereiche (*Terms of Reference*) der neuen Kommission II sind damit wie folgt festgelegt:

Commission II: Theory and Concepts of Spatio-temporal Data Handling and Information:

- Fundamentals of spatial database design, spatial data structures, spatial analysis and geostatistics, spatial querying, spatial reasoning, spatial and temporal modeling,
- Aggregation, generalisation, abstraction and rendering of image and vector data,
- Spatial decision support systems,
- Processing, analysis and modeling of multidimensional geospatial data,
- System integration and modeling aspects for data and geoinformation processing,
- Interoperability of heterogeneous spatial information systems,
- Semantic and geometric integration of heterogeneous spatial information,

- Communication and visualisation of spatial data,
- Data mining, filtering, retrieval and dissemination,
- Spatial data quality and spatial model quality.

Von der Generalversammlung wurden insgesamt 5 Resolutionen, die Arbeiten der Kommission II betreffend, verabschiedet und zwar zu den Themen:

- Spatial-Temporal Concepts and Databases,
- Multi-Dimensional & Multi-Resolution Spatial Information,
- Design and Operation of Spatial Decision Support Systems,
- Raster-Based Spatial Analysis on the Web,
- Dynamic and Multi-Dimensional GIS.

PETER LOHMANN, Hannover

Kommission V: Nahbereichsverfahren und maschinelles Sehen (Close-Range Techniques and Machine Vision)

Zunächst eine erfreuliche Nachricht: Beim Kongress in Istanbul wurde entschieden, dass Deutschland für den Zeitraum 2004–2008 Gastgeberland der Kommission V wird mit Prof. HANS-GERD MAAS, Dresden als Kommissionspräsident.

Nun zum Kongress selbst. Die dem Themenbereich der Kommission V zuzurechnenden Beiträge finden sich in erster Linie im Band 35, Teil B5 des ISPRS Archivs – es sind 180 Berichte – bzw. auf der Kongress-DVD, aber auch in den Tagungsbänden anderer Kommissionen, z. B. Kommission I (fünf Papers zur Kamerakalibrierung) und vor allem bei Kommission III. In den Proceedings dieser Kommission sind wesentliche Hinweise zur automatischen Objektextraktion und Objektrekonstruktion enthalten, die natürlich auch den Nahbereich betreffen, sowie die Beiträge zum Thema *Algorithms for Industrial Vision* (Working Group III/5). Institutionalisiert ist die Zusammenarbeit zwischen den beiden

Kommissionen zudem in der Inter-Kommission WG V/III *Image Sequence Analysis*.

Der Kommission V waren in Istanbul 16 Technical Sessions und 7 Poster Sessions zugeteilt – im Wesentlichen nach den Arbeitsgruppen der Kommission thematisch strukturiert. Auffallend war die große Zahl von Beiträgen für die WG V/4 *Image Analysis and Spatial Information Systems for Applications in Cultural Heritage* (ca. 70). Den Gegenpol bildete die WG V/3 *Medical Image Analysis and Human Motion* mit neun Beiträgen. Bei den übrigen fünf WG wurden ca. 15–30 Papers eingereicht, wobei die Zuordnung zu einer bestimmten Arbeitsgruppe nicht immer einfach ist. Zu den WG-bezogenen technischen Sitzungen kamen zwei thematische Sitzungen hinzu, die speziell dem Laserscanning gewidmet waren, d. h. der Datenerfassung, der Objektmodellierung und der Integration der Laserdaten mit anderen, vor allem Bilddaten. Zwei weitere Sitzungen wurden von der CIPA (Komitee

für die Dokumentation des kulturellen Welt-erbes) organisiert. Zum einen wurden Low-cost Systeme für die Aufnahme und Dokumentation von Bauwerken und Monumenten vorgestellt, zum anderen fand eine Sitzung zum 35jährigen Bestehen der CIPA statt, gewidmet dem Mitbegründer HANS FORAMITTI. Einem Rückblick auf die Entwicklung und die Aufgaben der CIPA folgten Hinweise zur aktuellen Situation und zu den erweiterten technischen Möglichkeiten bei der Dokumentation des kulturellen Erbes sowie ein kompetenter und zuversichtlicher Blick auf zukünftige Trends (*Heritage Documentation – The Next 20 Years*). Letztlich sei noch auf die Plenarsitzungen hingewiesen mit zumindest zwei für den Bereich der Kommission V interessanten Vorträgen: *From 2.5D Mapping to 3D Modeling – Photogrammetry: A Technology Whose Time Has Come* (A. GRÜN) und *From Robot Vision to Multi-Sensory 3D World Modeling* (G. HIRZINGER).

Ordnet man die Stichwörter im Keyword Index der Proceedings der Kommission V nach ihrer Häufigkeit, so lässt sich aus dieser Selbsteinschätzung der Autoren in gewisser Weise eine Ausrichtung der Arbeiten in der Kommission V in den letzten Jahren ableiten. Demnach beziehen sich die Beiträge auf *Photogrammetrie* (45 Erwähnungen im Index), davon viele auf Anwendungen für *Architektur und Archäologie* (37) bzw. das *kulturelle Erbe* (42). Bei der Objektvermessung werden *Kalibrierprozeduren* (27) durchgeführt, die Datenerfassung erfolgt oft durch *Laserscanning* (27), die Ergebnisse der *Rekonstruktion* (21) und *Modellierung* (25) dienen der Erzeugung *virtueller Realität* (19) und der *Visualisierung* (28). Dies sind die

Hauptthemen. Laserscanning wird allein oder in Verbindung mit Bildern (für Texturierung, Ergänzung und Genauigkeitssteigerung) eingesetzt, es folgen Visualisierung, Animation, Archivierung. Beeindruckend sind die Ansätze zur vollautomatischen Modellgenerierung. Darüber hinaus sind hybride Systeme durch Sensor- und Datenintegration etablierbar, bestehend z. B. aus hoch auflösenden Luftbildern und terrestrischen Bildern, dazu Videosequenzen und Laserscanner-Daten aus der Luft und vom Boden. All dies lässt sich mit geeigneter Software im gleichen Rechner zusammenführen (Räumliche Informationssysteme, CAD, etc.).

Natürlich wurden in Istanbul auch viele interessante Beiträge aus anderen Bereichen der Nahbereichsphotogrammetrie vorgestellt, z. B. über neue Verfahren der automatischen Zielmarkenmessung, erweiterte Methoden der Kamerakalibrierung (auch für Panoramakameras) und Anwendungen zur Rekonstruktion bzw. Überwachung unterschiedlichster Objekte (Schiffe, Holzstämmе, Zement usw.). Erfahrungen mit verschiedenen Mobile Mapping Systemen wurden mitgeteilt, über die Visualisierung mit Hilfe von Game Engines und die Bildreihenanalyse der Meeresoberfläche wurde berichtet.

Abschließend sei auf einige Tagungen des nächsten Jahres hingewiesen: Videometrics (16.–20.01.05 in San Jose/USA), Oldenburger 3D-Tage (02.–03.02.05 in Oldenburg), CIPA-Symposium (26.–30.09.05 in Turin) und Optical 3-D Measurement Techniques (03.–05.10.05 in Wien).

JÜRGEN PEIPE, Neubiberg

Kommission VI: Ausbildung und Kommunikation (Education and Communications)

Fakten und Aktivitäten

Im Zeitraum zwischen 2000 und 2004 veranstaltete die Kommission VI der ISPRS „Ausbildung und Kommunikation“ unter der Leitung von TANIA MARIA SAUSEN

(Brasilien) insgesamt 16 Workshops und ein Symposium in Sao Paulo. Letzteres fand international allerdings nur wenig Beachtung – lediglich 17 der 68 Teilnehmer kamen nicht aus dem Gastgeberland. Über diese Tagungen hinaus wurden diverse Verzeichnisse zu

länderspezifischen Ausbildungsaktivitäten sowie zu aktuellen e-Learning-Angeboten im Internet erstellt (www.commission6.isprs.org/wg1/).

Im Rahmen des Istanbuler Kongresses veranstaltete die Kommission insgesamt vier Vortrags- und zwei Poster-Sessions, in denen insgesamt sechs deutsche Beiträge vorgestellt wurden. Bereits zum dritten Mal wurde der Wettbewerb CATCON für computer-unterstützte Lehrmaterialien veranstaltet, der von einem Teilnehmer aus Deutschland, JONATHAN HAIG von der Universität Hannover, mit einem Modul zur Sensororientierung gewonnen wurde (an dieser Stelle nochmals herzlichen Glückwunsch!). Eine erfolgreiche Premiere feierte in Istanbul auch das „Youth Forum“, das einen fachlichen und sozialen Austausch speziell für junge Teilnehmer ermöglichte.

In der Periode von 2004 bis 2008 wird die Kommission VI von KOHEI CHO (Japan) geleitet werden, der auch weiterhin auf eine Unterteilung in vier Arbeitsgruppen bauen wird.

Eindrücke und Bewertung

Die dominierenden Schwerpunktthemen im Rahmen des Istanbuler Kongresses waren

der internationale Wissens- und Technologietransfer sowie das e-Learning. Der starke deutsche Input zum zweiten Bereich, inklusive einem eingeladenen Vortrag durch den Rektor der Universität Stuttgart, Prof. DIETER FRITSCH, ist sicherlich ein Beleg für den hohen Stellenwert und Entwicklungsstand im internationalen Vergleich. Dagegen spielen im Rahmen der ISPRS weder das in der EU stark nachgefragte Thema der Angleichung von Studienabschlüssen (Bachelor, Master), noch die Aspekte der Standardisierung und Terminologie nennenswerte Rollen.

Weiterhin fällt auf, dass im Gegensatz zur allseits betonten Bedeutung der Aus- und Weiterbildung die Kommission VI bezüglich der Anzahl an Beiträgen sowie der Besucher in den Sessions im Vergleich zu anderen Kommissionen stark unterrepräsentiert ist. Hier muss die neue Präsidentschaft unbedingt versuchen, mehr Beachtung zu finden und eine breitere Basis zu schaffen. Ein Weg hierzu könnte in der Zusammenlegung von Symposien mit den Arbeitsgruppen anderer Gesellschaften oder auch mit anderen Kommissionen der ISPRS bestehen.

JOCHEN SCHIEWE, Vechta

Kommission VII: Ressourcen- und Umweltüberwachung (Resource and Environmental Monitoring)

Wenn man das erste Mal mit der Aufgabe betraut ist, einen Bericht über eine Tagung – respektive einen Teil einer Tagung – wie den ISPRS-Kongress 2004 in Istanbul zu schreiben, schaut man gerne auf vorangegangene Berichte zurück. Aus diesem Grund habe ich mir nochmals die PFG 6/2000 herausgesucht und mit Interesse die dort veröffentlichten Berichte über die Tagung in Amsterdam, insbesondere auch den Bericht über die Kommission VII, gelesen. Leider musste ich feststellen, dass der damalige Erfahrungsbericht auch heute noch seine Gültigkeit hat: Ein ISPRS-Kongress ist eine Großveranstaltung, und einem Teilnehmer dieser Veranstaltung fällt es nicht leicht,

aus der Fülle der angebotenen Sitzungen und Beiträge eine Auswahl zu treffen. Will man sich über den Bereich Fernerkundung breit informieren, ist es erforderlich Sitzungen der unterschiedlichen Kommissionen zu besuchen. Aufgrund der Mehrspurigkeit ist dies jedoch kaum möglich, da interessante Sitzungen gleichzeitig stattfinden. Selbst wenn man sich auf eine Kommission beschränkt, reduziert sich das Problem der Auswahl, ganz wird es jedoch nicht behoben: Das Programm von Kommission VII umfasste 10 Vortragssitzungen von Arbeitsgruppen mit knapp 50 Beiträgen und 8 Postersitzungen von Arbeitsgruppen und thematische Postersitzungen mit ca. 260 Beiträ-

gen, sowie 9 weitere Sitzungen (Thematic und Special Sessions) mit wiederum ca. 40 Beiträgen. Die Vorträge umfassten auch knapp 10 eingeladene Vorträge. Damit handelte es sich um ein volles Programm und es blieb daher nicht aus, dass auch Sitzungen der Kommission VII zeitgleich angesetzt waren. Dies betraf nicht nur Vortragsitzungen, sondern auch Postersitzungen. Als Beispiel seien hier die gleichzeitigen Postersitzungen der Arbeitsgruppen VII/1, VII/3 und VII/6 mit insgesamt ca. 80 Beiträgen genannt. Der Korrektheit halber muss man jedoch sagen, dass die oben angegebenen Zahlen aus dem endgültigen Programm entnommen wurden, auf der DVD mit den Tagungsbeiträgen fanden sich jedoch unter der Kommission VII nur 250 Beiträge. Der Grund: nicht alle im endgültigen Programm verzeichneten Beiträge scheinen auch tatsächlich eingereicht worden zu sein. In vielen Vortragsitzungen fielen Beiträge aus, in den Postersitzungen der Kommission VII betrug die Ausfallquote häufig bis zu 50% – mehr als in Amsterdam. Bei Postersitzungen erscheint dies nicht gar so kritisch – es verbleibt einfach mehr Zeit für die, die präsentiert werden. Enttäuschend ist es natürlich trotzdem, wenn man einen interessanten Beitrag gefunden hat und dieser dann doch nicht präsentiert wird. Bei den Vortragsitzungen kommt jedoch durch den Ausfall von Beiträgen der eigene Zeitplan ins wanken, wenn man sich dazu entschieden hat „session hopping“ zu betreiben. Zeitpunkt und -umfang für die Postersitzungen – es waren jeweils 2 Stunden nach der Mittagspause anberaumt – erscheinen sinnvoll. Postersitzungen werden ja manchmal gegenüber Vorträgen etwas unterbewertet, jedoch lädt ein gut gemachtes Poster zu interessanten Diskussionen ein, wodurch der/die Autor/en manchmal mehr direkte Rückkoppelung erhalten als dies bei den kurzen Zeiträumen für die einzelnen Beiträge in einer Vortragsitzung möglich ist. Die Qualität der Präsentationen waren unterschiedlich. Bei Postern reichte es vom einfachen Ausdruck des Beitrages – was heute eigentlich nicht mehr vorkommen sollte – bis zu sehr gut strukturierten übersichtlichen Pos-

tern. Manchmal ist weniger, aber konzentriertes einfach mehr!

Doch nun zu den inhaltlichen Aspekten: Die Mehrzahl der Beiträge innerhalb der Sitzungen von Kommission VII beschäftigte sich mit Anwendungen. Das Programm war thematisch breit gefächert und reichte von klassischen Themen wie z. B. der Landnutzung auf der Basis bekannter Sensoren mit mittlerer geometrischer Auflösung über die Auswertung hyperspektraler Daten bis hin zu Anwendungen und Verfahren auf der Basis hoch auflösender Daten für Fragestellungen im städtischen Anwendungsbereich. Viele Beiträge bezogen sich auf Studien und Pilotprojekte, wenige auf wirklich operationellen Einsatz von Fernerkundung. Es gab keine sensationellen Höhepunkte und keine speziellen Trends, wenn auch mehr Beiträge, die sich mit hoch aufgelösten Daten – spektral und geometrisch – für Anwendungen im Stadtbereich beschäftigten, festzustellen waren. Gerade in diesem Bereich gab es aber auch Überlappungen mit anderen Kommissionen. Der Beitrag von P.-H. Hsu mit dem Titel „Feature Extraction of Hyperspectral Images Using Matching Pursuit“ der Thematic Session 5 über Hyperspektrale Fernerkundung – also einer regulären Sitzung des Kongresses – wurde mit dem Young Author Award ausgezeichnet. Hiermit stellt sich dann auch noch die Frage, ob es nicht besser ist, die jungen Autoren in das Kernprogramm zu integrieren, anstatt eine eigene Sitzungsreihe einzurichten.

Insgesamt war der ISPRS-Kongress ein interessantes Treffen, das neben den fachlichen Aspekten Gelegenheit gab, persönliche Kontakte zu pflegen bzw. neue zu begründen. Bleibt zu hoffen, dass die neue Struktur der ISPRS auch eine übersichtlichere Struktur und eine bessere Zuordnung von Beiträgen zu den Kommissionen erlaubt. Eine Anregung noch zum Schluss: Ein Kommissionen übergreifendes Autoren- und Schlagwortverzeichnis auf der DVD würde hier sicherlich große Dienste für einen schnelleren Überblick und Zugriff auf einzelne Beiträge leisten.

UWE WEIDNER, Karlsruhe

Natura 2000

Beratung am 7. 5. 2004 in Dresden

Rund 70 Naturschutz-Experten aus sieben europäischen Länder trafen sich im *Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung in Dresden*, um sich über das zurzeit anspruchsvollste Naturschutzvorhaben der EU mit dem Namen „Natura 2000“ auszutauschen. Im Mittelpunkt der Tagung stand eine ehemalige Außengrenze der EU, nämlich die Grenze Deutschlands mit Polen und der Tschechischen Republik.

Das Natura-2000-Netzwerk wird sich als europäisches Schutzgebietssystem angesichts der Erweiterung positiv weiterentwickeln. Die Experten sahen es dabei als eine wichtige zukünftige Aufgabe an, die biologische Vielfalt Europas gerade auch in grenzüberschreitenden Regionen durch Forschung, praktische Kooperation und intensivere Öffentlichkeitsarbeit zu stärken. Die Veranstaltung wurde in Kooperation mit dem *European Centre for Nature Conservation, ECNC*, aus den Niederlanden durchgeführt.

Das Ziel von Natura 2000 ist der Aufbau eines europaweiten repräsentativen Schutzgebietssystems, um die biologische Vielfalt in Europa zu erhalten und für zukünftige Generationen zu sichern. Das Kürzel „FFH“ steht für „*Flora, Fauna, Habitat*“ und bezeichnet eine europäische Richtlinie von 1992, auf deren Grundlage das Natura-2000-Netz aufgebaut wird. Für Pflanzen, Tiere und Biotope sind administrative und nationalstaatliche Grenzen unerheblich. Bei der Ausweisung und Abstimmung von Schutzgebieten können nationale Grenzen jedoch bedeutende Probleme bereiten. Die Experten stellten erhebliche Schwierigkeiten bei der grenzüberschreitenden Umsetzung der FFH Richtlinie fest.

Bei der grenzüberschreitenden Koordination von Natura 2000 Schutzgebieten ist man i. d. R. quasi „auf einem Auge blind“, so ein Experte. Es gibt keine gemeinsamen grenzüberschreitenden Datengrundlagen. Dadurch gehen erhebliche Chancen für die Sicherung der biologischen Vielfalt verloren. Nur eine grenzüberschreitende Ausweisung sichert den langfristigen Fortbestand der Gebiete, die auch eine ökologische Einheit bilden.

Das europäische Schutzgebietssystem hat Lücken. Deshalb sprachen sich die Experten für einen verstärkten Austausch – insbesondere auf der regionalen Ebene – über geplante Natura-2000-Gebiete aus. Dabei sollte man nicht auf Vorgaben der EU aus Brüssel warten. Um Ängste und Befürchtungen über mögliche Konsequenzen der Ausweisung von Schutzgebieten abzubauen, plädierten die Experten für eine frühzeitige Integration der Bevölkerung beiderseits der Grenzen.

Problematisch sind auch die Unterschiede in den Arbeitsständen zwischen Deutschland und den der EU neu beigetretenen Ländern Polen und Tschechien. Zurzeit sind in Polen circa 10,3%, und in Deutschland circa 9,2% der Landesfläche als Natura 2000 Gebiete vorgeschlagen. Ähnlich wie in Deutschland werden erhebliche Änderungen, Nachmeldungen und Konflikte über die konkrete Flächenausweisung auch in Polen und Tschechien erwartet.

Dr. CARSTEN KOLBE

Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V.

Weberplatz 1, 01217 Dresden

Tel.: 0351-4679-241, e-mail: c.kolbe@ioer.de

<http://www.ioer.de/cbc-natura-2000>,

<http://www.ioer.de>

Hochschulnachrichten

Ruhr-Universität Bochum

PD Dr. CARSTEN JÜRGENS, Institut für Geographie der Universität Regensburg, wurde mit Wirkung vom 1. 9. 2004 zum *Professor für Fernerkundung* im Geographischen Institut der Ruhr-Universität Bochum (Nachfolge Prof. Dr. Jürgen Dodt) berufen.

CARSTEN JÜRGENS studierte Angewandte Physische Geographie mit den Nebenfächern Fernerkundung und Hydrologie an den Universitäten Trier und Salt Lake City. Nach dem Diplom 1989 folgte 1992 die Promotion über *Kontrollmöglichkeiten der Flächenstilllegung mit Hilfe der Fernerkundung*. Ab 1992 war es als Assistent am Institut für Geographie der Universität Regensburg tätig und habilitierte 1999 mit einem Thema zur *Hochwassermodellierung*. Als Oberassistent etablierte er eine internationale Symposiensreihe zur urbanen Fernerkundung und arbeitet leitend in einschlägigen internationalen Fachgremien (EARSeL SIG „Remote Sensing of Urban Areas“, ISPRS-WG VIII.1 „Human Settlements and Impact Analysis“). Seit Anfang 2003 ist er einer der drei Schriftleiter der PFG. Seit September 2004 ist er Mitglied im Fachbeirat des Center for Geoinformation GmbH (CeGi) in NRW. Sein Forschungsschwerpunkt ist die anwendungsorientierte Informationsgewinnung aus optischen Fernerkundungsdaten urbaner und ländlicher Räume.

e-mail: carsten.juergens@rub.de

Technische Universität München

Dipl.-Ing. STEFAN HINZ promovierte am 22. 12. 2003 am Lehrstuhl für Photogrammetrie und Fernerkundung mit der Dissertation *„Automatische Extraktion urbaner Straßennetze aus Luftbildern“* zum Doktor der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.).

1. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. HEINRICH EBNER, TU München. 2. Gutachter: Prof.

Dr.-Ing. HELMUT MAYER, Universität der Bundeswehr Neubiberg.

Zusammenfassung:

In dieser Dissertation wurde ein neuer Ansatz zur automatischen Extraktion urbaner Straßennetze aus Luftbildern entwickelt. Um die hohe Komplexität urbaner Szenen handhaben zu können, wird ein explizit formuliertes Straßenmodell aufgestellt, das sowohl detailliertes als auch abstrahiertes Wissen über Straßen integriert. Die Modellierung von lokalem und globalem Kontext ergänzt das Straßenmodell.

Das Wissen, in welchem Stadium der Extraktion bestimmte Modellkomponenten den größten Nutzen für die Extraktion bringen, ist in einer Extraktionsstrategie zusammengefasst. Die Grobgliederung der Strategie umfasst drei Phasen: Im Rahmen der Kontextanalyse (Phase 1) werden die globalen Kontextgebiete „Wald“, „Siedlung“ und „offene Landschaft“ segmentiert und lokale Kontextinformation wie z. B. Schattenregionen und Verdeckungen durch Fahrzeuge analysiert. Die Extraktion setzt sich in den Siedlungsgebieten mit der Bestimmung von sicheren Straßenstücken fort (Phase 2). Die Bestimmung dieser Teilstücke des Straßennetzes beginnt mit der Detektion von homogenen Bändern in auflösungsreduzierten Versionen der Luftbilder und der Extraktion von Markierungen und Straßenrändern in der hohen Auflösung. Aus dieser Eingangsinformation werden durch mehrere Gruppierungsoperationen Fahrspuren und Fahrbahnen gebildet. Die Straßennetzbildung in (Phase 3) verfolgt schließlich das Ziel, Fahrbahnen aus mehrfach überlappenden Bildern zu fusionieren und daraus ein zusammenhängendes Netz zu erzeugen. Zu diesem Zweck kommt ein iterativer Prozess zum Einsatz, der zwischen den fusionierten Fahrbahnen Verknüpfungshypothesen generiert, die anschließend einer Verifikation im Bild unterzogen werden. Das Resultat dieser

Gruppierung sind Straßen, die Kreuzungs- und Endpunkte des Netzes miteinander verbinden.

Ein besonderes Merkmal der vorliegenden Arbeit ist die Entwicklung und systematische Nutzung eines Schemas zur internen Bewertung von Extraktionsergebnissen. Die interne Bewertung ermöglicht es, während der Extraktion auf die momentan am Erfolg versprechendsten Hypothesen zu fokussieren.

Anhand einer externen Bewertung mit manuell erfassten Referenzdaten wurde die Leistungsfähigkeit des Systems validiert. Die Ergebnisse zeigen, dass das implementierte System in der Lage ist, Straßen in komplexen Umgebungen mit großer Zuverlässigkeit und Vollständigkeit zu extrahieren.

Universität Zürich

Dipl.-Geogr. **OLIVER STEBLER** wurde am 15. 4. 2004 an der Mathematisch – naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Zürich mit der Dissertation *Analyse der komplexen Kohärenz flugzeug- und satellitengestützter InSAR-Systeme als Funktion konventioneller und interferometrisch optimierter Polarisationszustände (Analysis of the complex coherence of airborne and spaceborne InSAR-systems as a function of conventional and interferometrically optimised polarisation states)* zum Dr. sc. nat. promoviert.

Gutachter waren Prof. Dr. h.c. mult. **WOLFGANG-MARTIN BOERNER**, Chicago, Prof. Dr. **OLAF HELLWICH**, Berlin, Prof. Dr. **KLAUS I. ITTEN** und Prof. Dr. **DANIEL NÜESCH**, Zürich.

Die Dissertation ist 2004 im Druck und auf CD-ROM erschienen in der Remote Sensing Series, Vol. 41. Remote Sensing Laboratories, Department of Geography, University of Zurich.

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit analysiert die komplexe Kohärenz von repeat-pass flugzeug- und satellitengestützten InSAR-Systemen

als Funktion konventioneller und interferometrisch optimierter Polarisationszustände (PS von polarisation state) im L-Band. Mittels der SAR-Polarimetrie werden deterministische und stochastische Streuer miteinander verglichen und die multiplen Streuprozesse letzterer an Hand zweier Dekompositionsansätze untersucht. Es wird ausführlich dargestellt, dass diese Streumechanismen eine Polarisationsabhängigkeit der interferometrischen Volumendekoration zur Folge haben. Damit ist aber auch die Statistik der komplexen interferometrischen Kohärenz vom PS abhängig. Die Analyse differenzieller Interferogramme manifestiert in der Folge messbare Höhenunterschiede zwischen den Phasenzentren polarimetrischer Streumechanismen. Ausgedehnte Simulationen liefern eine modellhafte Deutung dieser Streuprozesse innerhalb eines stochastischen Volumens über einem multiplen Bodenpolarisator und geben eine mögliche physikalische Interpretation interferometrisch optimierter Singulärpolarisationen. Die adäquate Modellierung der Kohärenzamplitude bildet eine wichtige Voraussetzung für die Messparameterinversion mittels dieses kohärenten Streumodells. Schließlich zeigt sich, dass für den vorliegenden flugzeuggestützten Datensatz eine multi-baseline einer single-baseline Messparameterinversion für die Extraktion geo- und biophysikalischer Parameter eines stochastischen Vegetationsvolumens (e. g. temporale Kohärenz, Volumenhöhe, Dämpfungskoeffizient, [polarisationsabhängiges] effektives Boden-/Volumenstreuungsverhältnis und Bodenkohärenz) besser ist.

Technische Universität Wien

Dipl.-Ing. **PETER DORNINGER** promovierte im Juli 2004 an der TU Wien mit der Arbeit: *Ein Topographisches Mars Informationssystem – Konzepte für Verwaltung, Analyse und Visualisierung planetenweiter Daten* zum Dr.-Ing.

1. Begutachter: Prof. Dr. **JOSEF JANSKA**, TU WIEN, 2. Begutachter: Prof. Dr. **JÖRG ALBERTZ**, TU Berlin.

Kurzfassung:

Das Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung (I. P. F.) der TU Wien ist am Mars Express Projekt der Europäischen Raumfahrtbehörde ESA beteiligt. Die Aufgabe des I. P. F. ist die Entwicklung eines Topographischen Mars Informationssystems (TMIS). Dieses soll die enormen Mengen an Bilddaten, welche vom hoch auflösenden Kamerasystem High Resolution Stereo Camera (HRSC) erfasst werden, effizient verwalten. Die Verwaltung topographischer Daten als Originalpunktewolken sowie auch davon abgeleiteter digitaler Geländemodelle (DGM) soll ebenfalls möglich sein. TMIS stellt somit die zentrale Datendrehseibe innerhalb der Projektgruppe *HRSC on Mars Express* dar.

Im ersten Teil der Arbeit werden Konzepte zur Modellierung und Verwaltung räumlicher Daten unter Berücksichtigung vorhandener Standards und Normen beschrieben. Die Möglichkeiten auf Extensible Markup Language (XML) basierten Formaten für Datenhaltung und Datenaustausch raumbezogener Daten sowie für deren kartographische Aufbereitung zur Darstellung im Internet werden im Detail untersucht. Derzeit verfügbare Implementierungen von Web Map Services (WMS) liefern meist statische Kartendarstellungen, obwohl seitens der Spezifikation von WMS auch objektbasierte Ausgabeformate wie z. B. Scalable Vector Graphics (SVG) unterstützt werden. Im Rahmen der Entwicklung einer kartenbasierten Benutzerschnittstelle für TMIS wurden die Möglichkeiten von SVG eingehend untersucht. Basierend auf den resultierenden Erkenntnissen werden mögliche Erweiterungen zur Verbesserung der Anwendbarkeit vorhandener XML basierter Formate im Bereich der Geodatenmodellierung und -verwaltung präsentiert. Abschließend wird der gegenwärtige Implementierungsstand von TMIS als Anwendungsbeispiel der beschriebenen Methoden gezeigt.

Im zweiten Teil der Arbeit werden Methoden zur Bearbeitung und Analyse topographischer Marsdaten untersucht. Als Testdatensatz dienten Bild- und Topographie-Da-

ten, welche im Rahmen der NASA Mission Mars Global Surveyor (MGS) erfasst wurden. Zunächst wird eine Methode zur Detektion und anschließenden Elimination grober Datenfehler, welche in den Originalpunkten enthalten sind, vorgestellt. Die Ableitung homogener und von zufälligen Fehlern bereinigter DGM als Grundlage für weiterführende Analysen wird ebenfalls näher beschrieben. Seit die Oberfläche des Mars erkundet wird, drängt sich die Frage auf, ob es in früheren Zeiten Oberflächenwasser gab. Um der Beantwortung dieser Frage näher zu kommen, wurden rasterbasierte, hydrologische Analysemethoden an ausgewählten, möglicherweise durch Oberflächenwasser geformten Bereichen des Mars angewandt und die Ergebnisse visuell aufbereitet. Als Abschluss der Arbeit werden dreidimensionale Visualisierungen dieser Resultate, unter anderem zur Darstellung im Internet, präsentiert.

Dipl.-Ing. **STEFAN KNABE** promovierte im April 2004 mit der Arbeit:

Erfassung der räumlichen und zeitlichen Veränderung von Bodenfeuchtemustern in semiariden Gebieten mittels ERS-1/2 InSAR Zeitreihen zum Dr.-Ing.

1. Begutachter: Prof. Dr. WOLFGANG WAGNER, TU Wien, 2. Begutachter: Prof. Dr. Friedrich WIENEKE, Ludwig-Maximilians-Universität München.

Kurzfassung:

Im Zuge des globalen Klimawandels sowie der Bevölkerungsexplosion des 21. Jahrhunderts gewinnt die Thematik „Wassermanagement“ zunehmend an Bedeutung. Insbesondere aride und semiaride Regionen zeigen sich aufgrund einer wachsenden räumlichen und zeitlichen Variabilität der Niederschläge von einer steigenden Wasserproblematik stark betroffen. Zusätzlich zu einer zunehmenden Frequenz und Intensität von Dürresituationen wächst gleichzeitig die Gefahr extremer Hochwasserereignisse in den Herbst und Wintermonaten aufgrund einer mit den ansteigenden Meeresoberflä-

chentemperaturen verstärkten Zyklonenaktivität. Das wachsende Ausmaß der globalen Wasserproblematik unterstreicht die zunehmende Bedeutung von Dürre- und Hochwasserwarnsystemen, um Gefahrenpotenziale bereits frühzeitig erkennen und darauf reagieren zu können. Die entscheidende Voraussetzung für derartige Systeme ist die Kenntnis der räumlichen Bodenfeuchteverteilung von Flusseinzugsgebieten sowie deren Änderung über die Zeit. Indem die Bodenfeuchtesituation das Abflussverhalten des Einzugsgebietes steuert, besitzt sie einen entscheidenden Einfluss auf die Grundwasserbildung bis hin zum Entstehen von Flutkatastrophen.

Die Mikrowellenfernerkundung bietet aufgrund ihrer Sensibilität hinsichtlich einer Feuchteänderung sowie der wetter- und tageszeitenunabhängigen Aufnahmefähigkeit die Möglichkeit, die Bodenfeuchteverteilung eines Gebietes kontinuierlich und flächenhaft zu erfassen. Da neben der Bodenfeuchte weitere Oberflächenparameter, wie die Vegetationsbedeckung, die Bodenrauhigkeit und Bodentextur, das Rückstreusignal beeinflussen, wurden in der Vergangenheit eine Vielzahl von Methoden entwickelt, um die Isolierung des Feuchteinflusses zu ermöglichen und damit qualitative und quantitative Aussagen bezüglich des Bodenfeuchteaufkommens treffen zu können. Die Methoden erwiesen sich dabei jedoch in der Regel für eine großräumige Beschreibung der Bodenfeuchtesituation als ungeeignet. So beschränkte oftmals eine Abhängigkeit von in-situ Messungen sowie die hohe Komplexität und Rechenzeitintensivität die Feuchteerfassung auf einzelne Testflächen.

Die vorliegende Studie beschreibt ein einfaches und robustes empirisches Verfahren, das auf Basis von ERS1/2 InSAR Zeitreihen die großräumige Erfassung der räumlichen und zeitlichen Variation der Bodenfeuchte in ariden und semiariden Gebieten in Form eines Feuchte-Index ermöglicht. Indem die Kohärenz-Information der InSAR Daten dazu genutzt wird, eine mögliche Beeinflussung des Rückstreusignals durch eine biomassereiche Vegetationsbedeckung oder eine Änderung der Oberflächenrauhigkeit

zu minimieren, ermöglicht der vorgestellte Change Detection Ansatz eine flächenhafte Bodenfeuchteerfassung über komplette Flusseinzugsgebiete ausschließlich auf Basis von Fernerkundungsdaten. Bei der kohärenzbasierten Gewährleistung der Verfahrensprämissen Biomassearmut und Rauheitsstabilität ermöglichte das Verfahren die Beschreibung der räumlichen Bodenfeuchteverteilung mit geringen Schätzfehlern von 3,4–4,3 Vol.%. Unterstützt durch die geringe Rechenzeit und hohe Stabilität begünstigen die Eigenschaften des Verfahrens eine Operationalisierung, um kontinuierlich Bodenfeuchtefelder eines Flusseinzugsgebietes zu generieren. Die gewonnenen Produkte eignen sich somit als Kalibrierungs- oder Validierungsgrundlage für die hydrologische Modellierung und für die Gewährleistung aktueller Flächeninformation für Dürre- und Hochwasserwarnsysteme.

M. Sc. Geol. **ZHANG JIANZHONG**, China, promovierte im April 2004 mit der Arbeit *Räumliche und statistische Analyse von thermalen Satellitenbilddaten zur Erfassung von Kohlefeueranomalien* zum Dr.-Ing.

1. Begutachter: Prof. Dr. WOLFGANG WAGNER, TU Wien, 2. Begutachter: Prof. Dr. Paul M. VAN DIJK, ITC, Institut for Information Science and Earth Observation, Enschede, NL.

Kurzfassung:

Kohlefeuer (natürlich und anthropogen) führen nicht nur zum Verlust von Rohstoffen, sondern verursachen auch bedeutende Umweltprobleme. In China erstrecken sich die Kohlefeuer über den gesamten Nordteil des Landes. Daher ist es extrem schwierig, einen Überblick über die Verteilung von bereits bekannten und die Entstehung von neuen Kohlefeuern zu gewinnen. Diese Untersuchung beschäftigt sich mit der Entwicklung eines praktischen Verfahrens zur Ermittlung von durch Kohlefeuer verursachten thermalen Anomalien auf der Landoberfläche mit Hilfe von Fernerkundungsdaten im regionalen Maßstab.

Die Arbeit beginnt mit einem Überblick über die Theorie und Fallstudien zur Ermittlung von Kohlefeuern mit Hilfe fernerkundlicher Mittel. Die Oberflächenmerkmale und Nebenprodukte von Kohlefeuer beinhalten pyrometamorphe Gesteine, fumarolische Minerale, Einsturztrichter und -gräben, Landabsenkungen, Kluftbildungen, und oberflächennahe thermale Anomalien. Diese Ausprägungen können sowohl mit Hilfe von Fernerkundungsdaten aus dem sichtbaren Bereich, nahen Infrarot, kurzwelligem Infrarot und thermalen Infrarot als auch mit dem Radar entdeckt werden. Die Fähigkeit zur Entdeckung dieser Ausprägungen wird von der spektralen, räumlichen und zeitlichen Auflösung der Fernerkundungsdaten begrenzt.

Die Eigenschaften der Kohlefeuer und der dadurch bedingten thermalen Anomalien wurden mit Hilfe simulierter Kohlefeuer im Zuge von Feldarbeiten und bei der Analyse der Anomalien der Fernerkundungsdaten untersucht. Zwei Kohlefeuer-Simulationen wurden auf dem Gelände des DLR in Oberpfaffenhofen (Deutschland) im Rahmen eines Experimentes durchgeführt. Die Temperatur im inneren eines Kohlefeuers beträgt mehr als 1000°C. Die Wärmeabstrahlung eines Kohlefeuers rangiert von 300°C bis 900°C. Der Hintergrund im Gelände (z. B. Boden, Vegetation) hat im Verhältnis zum Kohlefeuer tagsüber einen höheren und nachts einen niedrigeren Wärmegradienten. Daher ist der Kontrast zwischen Kohlefeuer und Hintergrund in der Nacht deutlicher ausgeprägt.

Feldstudien haben ergeben, dass die Oberflächentemperatur innerhalb einer kleinen Sanddüne um 28°C abweichen kann. Die Temperaturunterschiede im Südosten und Norden einer Kohleabraumhalde zwischen 10.00 und 14.00 Uhr betragen bis zu 20°C. Die Temperaturunterschiede, die durch die unterschiedlich starke solare Erwärmung verursacht werden, können durch Kohlefeuer bedingte, thermale Anomalien überprägen. Kohlefeuer im Untergrund können thermale Anomalien an der Erdoberfläche erzeugen. Nachtdaten sind für die Beobachtung der Kohlefeuer am besten

geeignet. Der optimale Punkt für die Erfassung der Daten ist die Zeit unmittelbar vor dem Sonnenaufgang. Ein Temperaturprofil einer Kluft über einem Kohlefeuer zeigte, dass eine thermale Anomalie in einem Abstand von einem Meter zur Kluft bereits eine Stunde nach Sonnenaufgang von der Sonneneinstrahlung überdeckt worden war. Thermale Anomalien erstrecken sich höchsten drei Meter von einer Gesteinskluft. Die Breite der thermalen Anomalie bleibt bei steigender Hintergrundtemperatur gleich. Das Muster der thermalen Kohlefeuranomalien in Fernerkundungs- und Geländedaten wird durch die Geometrie der Spalten bestimmt.

Eine statistische Analyse der thermalen Anomalien in verschiedenen Landsat-7 ETM+ Tag- und Nachtszenen zeigte, dass Minimum-, Median- und Mittelwerte einer Kohlefeuranomalie in ETM+ Bildern höher als die ihres Hintergrundes sind, aber mit einer Vergrößerung des Hintergrundes die Differenzen dieser Werte zwischen Anomalie und Hintergrund geringer werden. Die Standardabweichung innerhalb einer thermalen Anomalie in ETM+ Nachtszenen ist höher als die des korrespondierenden Hintergrundes. Tagszenen zeigen eine umgekehrte Verhaltensweise. Das Minimum einer thermalen Anomalie ist deutlich niedriger als das Maximum des Hintergrundes. Deshalb stechen thermale Anomalien nicht deutlich hervor und sind daher schwer einzugrenzen. Jedes Kohlefeuer zeichnet sich durch eigene Start und End DN-Werte aus und sollte bei der Bestimmung einzeln erfasst werden. ETM+ Nachtszenen sind für die großräumige Aufnahme von Kohlefeuern gut geeignet. Die Erfolgsquote bei der Erfassung von Kohlefeuern beträgt ca. 80%.

In dieser Studie wurde ein praktisches Verfahren für die Ermittlung von Kohlefeuranomalien im regionalen Maßstab mit Hilfe von Landsat-7, Band 6 Daten entwickelt. Die meisten durch Kohlefeuer an der Erdoberfläche erzeugten thermalen Anomalien sind kleiner als die Pixelgröße einer Landsat-7, Band 6 Szene. Sie bilden hauptsächlich schwache und lokal beschränkte

thermale Anomalien. Die Anomalien können mit Hilfe eines Subsets des Bildes ermittelt werden. Dazu wird ein kleines Fenster Schritt für Schritt über das Gesamtbild bewegt. Die Analyse der Daten innerhalb dieses Fensters erlaubt es, die Anomalie vom Hintergrund mit Hilfe eines Schwellwertes zu trennen. Dieser Schwellwert wird durch den ersten Wendepunkt des Histogramms plus die Standardabweichung innerhalb des Fensters definiert. Ein sauber definierter Schwellwert minimiert die Anzahl der fälschlich zugeordneten Pixel. Eine Ergebniskarte zeigt auf, wie oft ein einzelnes Pixel als Feuer klassifiziert wurde. Ein weiterer Schwellwert erlaubt es, die Ergebniskarte in eine Bitmap mit Kohlefeueranomalien und Hintergrundgebiete aufzuteilen. Darüber hinaus können Fehlklassifizierungen, wie Wasserkörper und durch Sonneneinstrahlung erwärmte Hänge, mit Hilfe der bekannten statistischen Merkmale der Kohlefeuer ausgegrenzt werden.

Die Hintergrundtemperatur, die Qualität der thermalen Fernerkundungsdaten und die Größe und Intensität der Kohlefeuer sind die Hauptfaktoren für die Bestimmung der Kohlefeuer. Die Performanz des Algorithmus zur Extraktion der thermalen Kohlefeueranomalien ist nicht von den oben genannten Faktoren abhängig, sondern wird von der Größe des Fensters und dem finalen Schwellwert bedingt. Cluster thermaler Anomalien mit verschiedenem Ausmaß (z. B. 0-64 Pixel in Wuda) können gut mit Fenstern unterschiedlicher Größe extrahiert

werden. Manchmal ist es möglich, bis zu 100% der Pixel eines Cluster einzugrenzen. Die beste Fenstergröße zur Entdeckung von Kohlefeuern in einer großen Region im Nordwesten Chinas reichte von 11×11 zu 35×35 Pixel (Landsat-7 Band 6 Daten). Für Testzwecke wurde der Algorithmus auf Satellitendaten angewandt, die die Autonome Region Xinjiang Uygur abdecken und ca. 2000 km entfernt von den Hauptuntersuchungsgebieten liegen. Die thermalen Kohlefeueranomalien die durch den Algorithmus bestimmt wurden, stimmen gut mit den bekannten Kohlefeuern überein. Thermale Anomalien, die mit Hilfe des Algorithmus aus Landsat-7 Band 6 Daten ermittelt wurden, können zusammen mit Informationen aus den multispektralen nicht-thermalen Kanälen dazu genutzt werden, um Gebiete mit einem hohen Gefährdungspotential für Kohlefeuer zu definieren. „Ground-truth“ Studien in Gegenden, die eine hohe Wahrscheinlichkeit für Kohlefeuer aufwiesen und nie zuvor untersucht wurden, zeigten, dass es in diesen Gebieten aktive Kohlefeuer gab, die mit den zuvor ermittelten Anomalien perfekt übereinstimmten. Diese Untersuchungen beweisen, dass das hier vorgestellte Verfahren das Potenzial besitzt, Kohlefeuer in zuvor nicht analysierten Gebieten zu ermitteln. Dadurch wird es möglich, die Bestimmung und Überwachung von Kohlefeuern in großen Gebieten (wie z. B. Nordchina) auf operationeller Basis durchzuführen.

Persönliches

Prof. Dr. FRITHJOF VOSS verstorben

Am 16. Mai 2004 ist in Berlin der Geograph Prof. Dr. FRITHJOF VOSS plötzlich und unerwartet verstorben. Er war ein weltweit anerkannter Wissenschaftler und Hochschullehrer – zuletzt Direktor des *Instituts für Geographie Berlin* und Vorsitzender des Ar-

beitskreises Fernerkundung Berlin-Brandenburg e. V.

Prof. Voss wurde 1936 geboren, studierte 1956–1963 Geographie und Geologie an den Universitäten Kiel, Hamburg, Bonn und Oxford und promovierte 1965 an der Universität Hamburg zum Dr. rer. nat. Danach arbeitete er auf dem Gebiet der Lager-

stättenforschung in Afrika und als Assistenz-Professor am Institut für Geologie und Geographie der Staatlichen Universität der Philippinen. Nach seiner an der Universität Hamburg erfolgten Habilitation war er 1971–1973 dort Privatdozent und 1973–1976 erneut Professor an der Staatlichen Universität der Philippinen. In den Jahren 1980–1989 war er als Direktor für Forschung und Technik bei der *Deutschen Air Survey Hamburg* tätig. 1981 erhielt er eine Berufung als ordentlicher Professor an die Technische Universität Berlin. Hier setzte er die Tradition der Geographie in Forschung und Lehre fort, die an der TU Berlin seit Ende des 1. Weltkrieges durch die Professoren RÜHL (1920–1930), QUELLE (1930–1940), KRÜGER (ab 1940) und – nach der durch den 2. Weltkrieg bedingten Unterbrechung – durch die Professoren FELS (1950–1958) und JENSCH (1958–1962) begründet und weiterentwickelt wurde. 1962 erfolgte die Institutionalisierung des Fachgebiets Geographie unter Leitung von Prof. VALENTIN. Durch die persönlichen Aktivitäten von Prof. Voss an der TU Berlin ab 1981 erfuhr das Institut für Geographie eine erhebliche Weiterentwicklung in Forschung und Lehre, insbesondere durch die Erweiterung seines Aufgabenspektrums und seiner nationalen und internationalen Kooperationsbeziehungen. Infolge der Vereinigung von Berlin mit seinen nunmehr vier Universitäten und der damit begründeten Einstellung des Studiengangs Geographie an der TU Berlin in den Jahren 1996–2001 erwachsen für das von Prof. Voss geleitete Institut neue Aufgaben. Mit Beginn des Jahres 2003 initiierte er die Ausgründung dieses Instituts aus der TU Berlin und die Neugründung eines von ihm geleiteten privatwirtschaftlichen Forschungsinstituts.

Auf Grund seiner langjährigen Berufserfahrung und seines hohen internationalen Ansehens als Wissenschaftler und Hochschullehrer gelang es Prof. Voss, sein neues *Institut für Geographie Berlin* erfolgreich in die Wissenschaftslandschaft Berlin-Brandenburg zu integrieren. Darüber hinaus besaß Prof. Voss auf Grund seiner weltweit hohen fachlichen Akzeptanz eine große An-

zahl internationaler Kooperationspartner. Allein seit 1992 bearbeitete er Auslandsprojekte in Äthiopien, Argentinien, Bulgarien, Chile, China, Indonesien, Kenia, Mali, Mauretanien, Mexiko, Niederlande, Niger, Sudan, Saudi Arabien, Tansania, Thailand u. a., die stets mit einem Technologietransfer verbunden waren.

Das Forschungsprogramm seines neuen Instituts umfasste insbesondere Aufgaben und Projekte auf dem Gebiet des Luftbildwesens (einschließlich Bildflüge mit unterschiedlichsten Sensorsystemen sowie topographische und thematische Bildauswertungen), zur Satellitenfernerkundung, thematischen Interpretationen, Computerkartographie und zu Geoinformationssystemen. Technische Entwicklungen bzw. Adaptionen im eigenen Labor bildeten oft die Grundlage für von Prof. Voss entwickelte neuartige Anwendungsfelder. Eine Vielzahl der von ihm persönlich initiierten Projekte zur Nutzung von flugzeug- und satellitengestützten Fernerkundungstechnologien war geowissenschaftlichen Inventuren und wissenschaftlichen Nutzenanwendungen der unterschiedlichsten Art im In- und Ausland gewidmet. Beispiele aus jüngster Zeit für die von Prof. Voss stets propagierte und angestrebte Praxisrelevanz seiner Forschungsprojekte und Entwicklungen waren die automatische Verkehrsüberwachung mit Infrarot-Fernerkundungstechnik und die Überwachung von Massenschädlingsplagen. Auf letzterem Gebiet gelang Prof. Voss durch Integration von Fernerkundungs- und mobiler Kommunikationstechnik der internationale Durchbruch bei der ökonomisch und ökologisch akzeptablen Kontrolle und Bekämpfung von Heuschreckenschwärmen, die bekanntlich Vegetations- und infolgedessen Ernährungskatastrophen auf 20% der Erdoberfläche verursachen können.

Für die Initiierung und Durchführung eines entsprechenden Projekts in Äquatorial-Afrika erhielt Prof. Voss im Jahre 1996 einen der „Rolex Awards for Enterprise“ – einen der weltweit seit 1976 vergebenen Preise für exzellente, dem Menschheitsfortschritt dienende Vorhaben. Dies war eine der höchst selten erfolgten internationalen

Auszeichnungen, die je an einen deutschen Wissenschaftler auf dem Gebiet der Nutzung von Fernerkundungsdaten verliehen wurde.

Prof. Voss hat dieses Verfahren konsequent weiterentwickelt und im Jahre 2002 eine neuartige elektrotechnische und völlig chemiefreie Methode zur Bekämpfung von Schadinsekten in subtropischen und tropischen Ländern vorgestellt. Dieses patentierte Verfahren sollte in diesem Jahr auch in Deutschland in Freilandversuchen zur Eliminierung von Schadinsekten (Borkenkäfer, Kastanienmoniermotte, Apfelwickler u. a.) getestet werden. Die Pionierarbeit von Prof. Voss auf diesem Gebiet führte u. a. auch zu einer Einladung nach China, um diese Methode bei der Abwendung der riesigen Ernteverluste durch Heuschrecken und andere Schadinsektenplagen einzusetzen. Es ist besonders tragisch, dass er wenige Stunden nach Rückkehr von dieser erfolgreich verlaufenden Chinareise verstarb.

Durch die Leitung des Arbeitskreises Fernerkundung Berlin-Brandenburg e.V. seit dessen Gründung im Jahre 1992 hat sich Prof. Dr. F. Voss große Verdienste bei der Förderung der Zusammenarbeit zwischen den in der Region Berlin-Brandenburg in erheblicher Anzahl ansässigen Fachleuten auf dem Gebiet der Fernerkundung in Wissenschaft, Verwaltung und Wirtschaft erworben. Im Sinne der Zielsetzungen des Vereins hat er wesentlich zur Entwicklung und Nutzung der Fernerkundungstechnologien als Bestandteil eines modernen Geoinformationswesens in der Region beigetragen. Er hat wie kein anderer die Wahrhaftigkeit eines echten Zusammenwachsens der Fachleute unseres Arbeitsgebietes aus Ost und West vorgelebt.

Prof. Voss führte mit seinem Institut zusammen mit der Fortbildungsakademie der Deutschen Gesellschaft für Geographie und zuletzt auch mit der Volkshochschule in Berlin ein umfangreiches Aus- und Weiterbildungsprogramm mit Schulungen und Trainingskursen durch. Das Institut war seit 1997 von MICROSOFT als Authorized Academic Training Program Institution (AATPI) zertifiziert.

Darüber hinaus war Prof. Voss Herausgeber der „Berliner Geographischen Studien“, einer seit 1977 bestehenden und bisher über 50 Bände umfassenden Veröffentlichungsreihe.

Im Jahre 2001 rief er die „Prof. Dr. Frithjof Voss Stiftung“ für Geographie mit Sitz in Berlin ins Leben. Seine Stiftung verfolgte das Ziel, die Geographie in Wissenschaft, Praxis und Schule zu fördern und damit zugleich ihre anwendungsbezogene Bedeutung in der Öffentlichkeit zu stärken. Die Stiftung vergibt alle zwei Jahre zum Deutschen Geographentag den Wissenschaftspreis für Geographie und will „...den Wert hervorheben, den das Fach für den Dienst am Menschen besitzt, indem es sich Problemen mit existenzieller Tragweite widmet und so dazu beiträgt, Lösungsansätze für den Schutz und die Wiederherstellung wesentlicher Lebensgrundlagen zu finden“. Insbesondere dieser Teil des Stiftungsgedankens war gleichsam Leitmotiv, Lebensziel und Lebensinhalt des Stifters.

Alle, die Prof. Dr. FRITHJOF VOSS kannten und mit ihm zusammen gearbeitet haben, werden ihn in dankbarer Erinnerung behalten und versuchen, seine zahlreichen begonnenen Arbeiten in seinem Sinne weiterzuführen. Die Fernerkunder der Region Berlin-Brandenburg schulden Prof. Voss Dank für sein Engagement, seine Anregungen und seine Vorbildfunktion.

KARL-HEINZ MAREK, Glindow

Dr. TEODOR JOSEPH BLACHUT verstorben

Im Alter von 89 Jahren verstarb am 17. 6. 2004 mit Dr. BLACHUT einer der führenden Photogrammeter des vorigen Jahrhunderts.

Geboren in Polen, studierte er an der Technischen Universität Lwow Vermessungswesen und erwarb dort 1938 das Diplom. Während des 2. Weltkrieges gehörte er der 2. Polnischen Division in Frankreich an, die schließlich in die Schweiz hinüber wechselte. Dort wurde BLACHUT interniert.

Hier traf er auch mit Dr. MAX ZELLER zusammen, arbeitete kurze Zeit für ihn und ging dann zur Firma Wild nach Heerbrugg.

1951 emigrierte er mit seiner Frau nach Kanada, wo er die Forschungsabteilung für Photogrammetrie des National Research Council of Canada (NRC) in Ottawa aufbaute. Es gelang ihm, eine Gruppe fähiger Mitarbeiter zusammen zu stellen mit G. SCHUT, dem Pionier der *analytischen Aerotriangulation* (Blockausgleichung) und U. V. HELAVA, dem Schöpfer des *Analytical Plotter* (Anaplot 1976 auf dem ISPRS-Kongress in Helsinki).

BLACHUT selbst promovierte 1971 an der ETH Zürich mit einer Dissertation über *Stereo-Orthophotos*. Er veröffentlichte insgesamt etwa 130 wissenschaftliche Arbeiten, war aktiv in der ISPRS tätig, und war beteiligt als Co-Autor an der Herausgabe eines Buches von Prof. RUDOLF BURKHARDT über

die Geschichte photogrammetrischer Verfahren und Geräte. Während seiner Tätigkeit in Ottawa organisierte BLACHUT zahlreiche wissenschaftliche Konferenzen.

Zu seinen zahlreichen Ehrungen gehören die Wahl zum Mitglied der „Royal Society of Canada“ und der „Polnischen Akademie der Wissenschaften“ (PAN) sowie die Verleihung der Ehrendoktorwürde durch die Bergakademie Krakow (AGH).

In Deutschland ist Dr. Blachut bekannt durch seine wissenschaftlichen Publikationen und seine Teilnahme an zahlreichen Veranstaltungen. Alle, die Dr. TED BLACHUT kannten, werden ihn als liebenswürdigen, aufgeschlossenen und kontaktfreudigen Kollegen in Erinnerung behalten.

Quelle: ISPRS-Highlights, Vol. 9, No. 3, p. 47, Sept. 2004

Buchbesprechungen

WOLFGANG KRESSE & KIAN FADAIE, 2004: ISO Standards for Geographic Information. Springer Verlag, Heidelberg. 322 Seiten. 137 Abbildungen, 13 Tabellen. ISBN 3-540-20130-0.

Normung bestimmt unser tägliches Leben, inzwischen auch mehr und mehr im GIS-Bereich. Seit 1994 beschäftigt sich die Internationale Standardisierungsorganisation ISO im technischen Komitee TC 211 mit der Normung von Geoinformation. In den letzten Jahren sind hier eine Vielzahl von Normen entworfen und zur Reife gebracht worden, so dass sich das vorliegende Buch als Ziel steckt, über dieses Normungsgeschehen kompetent zu informieren. Während Normungsdokumente i. d. R. recht umfangreich und eher langweilig sind, gelingt es mit diesem Buch von Anfang an, Normung als etwas Interessantes darzustellen und durch geschickte Auswahl und Kompression nur die

wesentlichen Aspekte der Normen hervorzuheben.

Das Buch besteht aus 6 Kapiteln, gefolgt von einem umfangreichen Anhang. Es startet mit grundlegenden Begriffsdefinitionen und Benennung der wichtigsten Standardisierungs-Organisationen wie ISO, IEC u. a. Anschließend wird ein kurzer Abriss der Geomatikstandards gegeben. In den folgenden beiden Kapiteln beschreiben die Autoren nichtgeometrische und geometrische Standards. In der ersten Kategorie sind Standards zur Terminologie, zu den räumlichen, thematischen und zeitlichen Schemata, zu Bilddaten und Katalogdaten sowie zur Implementierung und Qualifizierung zusammengefasst. Diese werden ausführlich beschrieben, wobei die Modellierungssprache UML zum Einsatz kommt. In dem Kapitel zu geometrischen Standards werden einfache Objekte (so genannte simple features), diskrete und kontinuierliche Objekte

(so genannte Coverages) und Funktionen wie auch die Geography Markup Language klar erläutert. Im nachfolgenden Kapitel werden einige Mitglieder und Nachbarorganisationen zur ISO aufgeführt. Dabei kommt natürlich auch das aktuelle Geschehen im Open GIS Consortium zur Sprache. Abgerundet wird das Buch durch eine anwendungsbezogene Sicht, wobei die Aktivitäten in den Heimatländern der beiden Autoren Kanada (eine GIS-Industriesicht) und Deutschland (die aktuelle AFIS-ALKIS-ATKIS-Umsetzung auf Basis der Standards) beleuchtet werden. Im Anhang werden u. a. ein umfangreiches Glossar und Abkürzungen sowie Ausführungen zu XML dargeboten.

Eingestreut in den Text ist die Vorstellung einzelner Personen, die das Normungs- und Standardisierungsgeschehen im letzten Jahrzehnt entscheidend mitgeprägt haben, so z. B. der Norweger OLAF ØSTENSEN, der Deutsche HANS KNOOP oder der Amerikaner CLIFFORD KOTTMAN. Dies führt dem Leser deutlich vor Augen, dass Standards von Menschen für Menschen gemacht werden und dass es insbesondere einzelner hartnäckiger Vorkämpfer bedarf, um das langwierige Normungsgeschehen zu einem erfolgreichen Ende zu bringen.

Die beiden Autoren des Buches kommen aus dem Fernerkundungssektor. Sie sind national und international seit vielen Jahren im Normungsgeschehen tätig und haben sich u. a. in der Standardisierung von Bild-daten engagiert. WOLFGANG KRESSE ist Professor an der Fachhochschule Neubrandenburg, KIAN FADAIE arbeitet am kanadischen Fernerkundungszentrum.

Den beiden Autoren kann zu diesem gelungenen Werk nur gratuliert werden. Sie haben das oben angedeutete Ziel erreicht. Es stellt den Stand der Normung von Geoinformation in einer sehr gut verständlichen, klar strukturierten und anschaulich visualisierten Form dar. Das Buch ist jedem Nutzer und Entwickler von GIS zur Lektüre zu empfehlen, einerseits weil sich die Normung auf die täglichen GIS-Arbeiten zunehmend auswirken wird. Andererseits, und viel wichtiger erscheint dem Rezensenten jedoch,

dass das Buch den Leser praktisch nebenbei mit modernen Notationen wie UML und Websprachen wie XML vertraut macht und grundlegende GIS-Begriffe und geometrisch-topologische Objektbeziehungen in hervorragender Weise präsentiert. Hiervon kann jeder in der GIS-Branche nur profitieren.

RALF BILL, Rostock

KARL KRAUS, 2004: Photogrammetrie, Band 1 – Geometrische Informationen aus Photographien und Laserscanneraufnahmen. 7., vollständig bearbeitete und erweiterte Auflage, 516 p. Walter de Gruyter Verlag Berlin – New York. ISBN 3-11-017708-0

Der erste Band des bekannten und seit über 20 Jahren geschätzten Standardwerkes „Photogrammetrie“ von Prof. KARL KRAUS, Technische Universität Wien, ist Anfang 2004 in der 7. Auflage neu erschienen. Nach dem Wechsel des Verlages hat jetzt de Gruyter das gesamte Werk übernommen, eine Überarbeitung der beiden weiteren Bände der Photogrammetrie-Reihe ist bereits angekündigt.

Das Buch ist in acht Kapitel untergliedert. Nach der *Einleitung* und einigen *Vorbemerkungen aus Mathematik und digitaler Bildverarbeitung* (Kapitel 2) werden in Kapitel 3 die *Photogrammetrischen Aufnahmesysteme* ausführlich beschrieben, bevor der Autor die *Orientierungsverfahren und einige Methoden der Zweibildauswertung* vorstellt (Kapitel 4). Es folgen in Kapitel 5 eine Diskussion zur *Photogrammetrischen Triangulation*, die insbesondere den Luftbildfall abdeckt, sowie in Kapitel 6 die *Auswertegeräte und einige weitere Zweibildauswerteverfahren*. Kapitel 7 ist dem Thema *Orthophotos und Einbildauswertung* gewidmet, Kapitel 8 enthält die Ausführungen zum *Laserscanning*.

Den Abschluss des Buches bilden eine Reihe von Anhängen sowie ein ausführliches Sachregister. Der Umfang ist im Vergleich zur letzten Neubearbeitung 1994 um

ca. 20% angewachsen und beträgt jetzt über 500 Seiten.

Schon der Untertitel des Buches – Geometrische Informationen aus Photographien und Laserscanneraufnahmen – deutet an, dass die 7. Auflage von „Photogrammetrie“ weit mehr ist als ein neuer Druck eines bewährten Buches. Eines fällt sofort auf: das Kapitel *digitale Photogrammetrie* fehlt im Vergleich zu 1994. Der Grund liegt aber natürlich nicht darin, dass die digitale Photogrammetrie überflüssig geworden wäre – das Gegenteil ist der Fall: *Photogrammetrie* ist inzwischen von vornherein *digitale Photogrammetrie*, der Zusatz „digital“ ist zur Tautologie geworden und folglich entfallen, die entsprechenden Abschnitte wurden in die grundlegenden Kapitel eingearbeitet. Die Betonung auf digitale Techniken zieht sich als roter Faden durch die gesamte Neubearbeitung, sei es in Kapitel 2, in das eine ausführliche Darstellung der digitalen Bildverarbeitung aufgenommen wurde, oder in den Kapiteln über Aufnahme- und Auswertegeräte, in denen sich u. a. neue Abschnitte zu CCD-Kameras und photogrammetrischen Scannern bzw. zu digitalen Stereoplottern finden. Mit der Betonung der digitalen Komponenten gehen sowohl die stärker mathematisch geprägte Darstellung der geometrischen Aspekte der Photogrammetrie als auch die weitgehende Trennung von der Gerätetechnik einher. Demgegenüber wurde die Beschreibung analoger Techniken, die nur noch historischen Wert besitzen, stark gekürzt.

Auch der zweite Teil des Untertitels deutet auf eine Neuerung hin: die Aufnahme und Auswertung von Laserscanneraufnahmen ist als neues Kapitel in das Buch aufgenommen worden und wird auf fast 60 Seiten sowohl für Aufnahmen vom Flugzeug aus als auch für terrestrische Anwendungen beschrieben. Der Grund für die Einordnung des Laserscannings in die Photogrammetrie ist einleuchtend: während Bilder flächenhaft verteilte Informationen über die Helligkeit von Objekten enthalten, liefern Laserscanner flächenhaft verteilte Informationen über die Tiefe der Objekte. Abgesehen von der Tatsache, dass Tiefeninformation ebenso

auch aus (Stereo-)Bildern gewonnen wird, kommen bei der Weiterverarbeitung von digitalen Bildern und Laserscannerdaten oft sehr ähnliche Verfahren, nämlich diejenigen der digitalen Bildverarbeitung und Bildanalyse, zum Einsatz. Daneben findet man immer öfter Ansätze, die Laserscannerdaten und Bilder gemeinsam auszuwerten, was ebenfalls für eine Behandlung beider Techniken in einem Lehrbuch spricht.

Auch andere neuere Entwicklungen finden ihren Niederschlag in dem Buch, so z. B. die projektive Geometrie, die in die Kapitel 2 und 4 aufgenommen und darüber hinaus in die traditionelle Darstellung der Bildorientierung eingebettet wurde. Dadurch wird dem Leser, der die Bündelausgleichung kennt und zum Verständnis der Materie geometrisch anschauliche Darstellungen sucht, der Einstieg in die etwas abstraktere projektive Geometrie deutlich erleichtert. Ähnliche Aussagen gelten z. B. auch für die neu aufgenommene Darstellung von GPS und Inertialsystemen, sowie für die – allerdings relativ kurze – Diskussion der Dreizeilen-geometrie, beides zu finden in den Kapiteln 3 (Aufnahmesysteme) und 5 (Auswertung).

Was kann man sich zu einem an sich perfekten Buch noch wünschen? Dem Rezensenten fallen nur wenige Vorschläge ein. So haben die Verfahren der Bildzuordnung in der Photogrammetrie inzwischen eine so grundlegende Bedeutung erlangt, dass es überlegenswert erscheint, sie in die Grundlagen aufzunehmen, anstatt sie im Kapitel 6 zusammen mit anderen Auswerteverfahren zu behandeln. Ähnliche Überlegungen können auch für die anderen halb- und vollautomatischen Algorithmen, etwa Snakes oder Kantenoperatoren angeführt werden. Auch digitale Luftbildkameras, die sich in allerjüngster Zeit in der Praxis durchzusetzen beginnen, werden in einer weiteren Neubearbeitung sicher einen größeren Raum finden.

Zusammenfassend kann das Buch sowohl Studenten der Geodäsie und Geoinformatik und des Vermessungswesens als auch Praktikern, die ihre Kenntnisse auffrischen wollen, wärmstens empfohlen werden. Neben der klar strukturierten Beschreibung der we-

sentlichen Teilgebiete sind es die eingängigen Graphiken sowie die vielen Beispiele und Übungen, die das Verständnis des Stoffes wesentlich erleichtern. Dem Autor ist es erneut hervorragend gelungen, das Fachgebiet aktuell, kompetent, umfassend und sehr verständlich darzustellen. Seine Leser werden ihm das hohe und jahrzehntelange Engagement, das aus dem Buch spricht, voraussichtlich danken, indem auch die 7. Auflage – wie schon die älteren – in kürzester Zeit ausverkauft sein wird. Zu dem sehr gelungenen Buch sei dem Autor herzlich gratuliert.

CHRISTIAN HEIPKE, Hannover

JÜRGEN FRIEDRICH, 2004: *Spatial Modeling in Natural Sciences and Engineering. Software Development and Implementation*. 305 p., 101 Fig., 86 Tab., Hardcover Springer Verlag. Heidelberg, press@springer.de, ISBN 3-540-20877-1.

This is one of the first books trying to introduce object-oriented theory and practise especially for spatial sciences. The book consists of two parts: In the first part – the more theoretical one – the author introduces the basic concepts of object-orientation, whereas in the second part – the practical design and implementation part – the author demonstrates how to build spatial models with objects and patterns. The book is separated into 10 chapters followed by lists of abbreviations, figures and tables, a smaller bibliography and a larger glossary with terms related to object-orientation.

In the first chapter the author introduces the basic terms of object-oriented methodology such as objects, classes, encapsulation, inheritance, polymorphism, and dynamic binding. In a small example he shows some of the basic functional modelling tools (e. g. data flow diagram, class diagram, state diagram). In the next chapter he gives an overview on the different object-oriented approaches. He explains the principles and the major differences between Booch's-, the OMT-, and Coad's approach and how they

are evolutionarily integrated nowadays in the commonly used Unified Modeling Language UML. In the third chapter he is describing fundamentals, strategies and guidelines for building and finishing object-oriented models for a given problem, i. e. what are the major classes, objects, connections, attributes and operations in the problem.

The next chapters – as mentioned before, the second part of the book – have the goal to demonstrate how the theory described in part I can be used to create space-related applications. Each chapter is dedicated to one certain type of a problem and illustrates all the steps starting from a problem description, via the analysis and design, and ending in the implementation and testing. The problems discussed are:

- Chapter 4: Dynamic matrix processor in Visual Basic.
- Chapter 5: 2D dynamic data plotter in Visual Basic.
- Chapter 6: 3D visualization and animation in Visual Basic.
- Chapter 7: External program embedding into an interactive window shell.
- Chapter 8: Data base application for digitizing digital images.
- Chapter 9: Data base application for a city map as a Java applet.
- Chapter 10: Parallel computing with Java threads (computing the number pi or determining the orbits of satellites).

The examples may be used as starting point for own implementations because they are well described and the source code is available via Internet.

According to the author this handbook should be read by engineers and students. In principal, the reviewer agrees with this statement. Nevertheless one has to mention that readers should be familiar – especially in the second part of the book – with some fundamental geodetic, image processing, and GIS concepts. Thus, I would recommend it for higher level graduate and post-graduate students as well as practioners in the field of surveying, geodesy, cartography, photogrammetry, image processing, and remote sensing. For these readers it will give

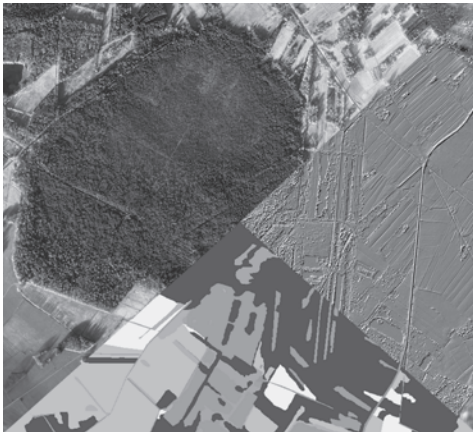
a deeper insight into object-oriented concepts and the way how to implement these in their scientific fields and applications. In some cases the implementation aspects may be a little bit too strong. Nevertheless, the strategies and rules described and the to-do lists given in the book will help beginners to do the first successful steps in object-orientation.

In the opinion of the reviewer the title of the book is not clearly identifying the main topics in the book. Thus, I would suggest changing the title into “Object-oriented modeling of spatial phenomena in natural sciences and engineering” in the next release.

RALF BILL, Rostock

Zum Titelbild

Das Pfrunger-Burgweiler Ried – ein Moorgebiet mit dem Laserscanner erfasst



Die Bildkomposition vom Pfrunger-Burgweiler Ried wurde auf Basis von Höhen- und Bilddaten der Firma TopoSys erstellt und gibt das Oberflächenmodell in der Reliefdarstellung, die True-Orthobilder RGB und CIR sowie einen klassifizierten Ausschnitt wieder.

Das Pfrunger-Burgweiler Ried ist das zweitgrößte Moor Südwestdeutschlands und wurde 1980 in Kernbereichen zu einem Naturschutzgebiet erklärt. Im September 2002 wurde das Naturschutzgroßprojekt Pfrunger-Burgweiler Ried vom Bundesamt für Naturschutz ins Leben gerufen, dessen

Projektziele neben Besucherlenkung, Extensivierung und Einrichtung einer Pufferzone insbesondere die weitgehende Wiedervernässung der Hoch- und Zwischenmoore sowie der angrenzenden Niedermoor-Bereiche sind. Projektträger ist die Stiftung Naturschutz Pfrunger-Burgweiler Ried mit fachlicher Unterstützung durch das Büro pluspunkt in Zürich.

Mit dem Sensor-System FALCON II der Firma TopoSys wurden bei der Befliegung des Riedes gleichzeitig Laserdaten im First und Last Echo sowie Bilddaten in vier Spektralkanälen aufgezeichnet. Die Befliegung erfolgte in der vegetationsfreien Zeit im Dezember, um primär ein präzises digitales Geländemodell (DGM) zu erzeugen.

Die gewählte Bildkomposition soll zum Ausdruck bringen, dass in einer Laserscanner-Befliegung präzise drei-dimensionale Daten und spektrale Informationen der Erdoberfläche zeitgleich aufgezeichnet werden können, die anschließend als kombinierter Basisdatensatz für zahlreiche Anwendungen im Naturschutz dienen wie z. B.:

- Bestandsaufnahme der Oberfläche
- Dokumentation von Veränderungen
- Revitalisierungs- und Regenerationsmaßnahmen
- Pflege- und Entwicklungsplanungen
- Ökologische Rahmenuntersuchungen und Erfolgskontrollen
- Maßnahmen zur Wiedervernässbarkeit (z. B. Einstau von Zusatzwasser)

- Planung von Aufstaeinrichtungen und Messstellenkonzept
- Modellierung optimaler Stauhöhen
- Ausweisung von Sackungs- und Schrumpfungsbereichen
- Erfassung von Moorhöhenverlust und Rückquellung
- Kartierung und Klassifikation

Im Büro pluspunkt in Zürich werden für vielfältigste Aufgabenstellungen der Ökologie und des Naturschutzes vermehrt hoch auflösende und präzise digitale Geländemodelle eingesetzt. Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit wird zunehmend eine flächendeckende Laserscanner-Befliegung, die auch schwer zugängliche und vernässte Bereiche von Feucht- und Naturschutzgebieten erfasst, einer aufwendigen terrestrischen Vermessung vorgezogen.

Stiftung Naturschutz Pfrunger-Burgweiler Ried

Riedweg 3, 88271 Wilhelmsdorf
Tel.: 07503-916541, Fax: 07503-916545
e-mail: info@riedstiftung.de
Internet: <http://www.riedstiftung.de>

pluspunkt

Zentralstr. 156, CH-8003 Zürich
Tel.: 0041-43-33312-51
Fax: 0041-43-33312-55
e-mail: pluspunkt.natur@bluewin.ch

TopoSys

Topographische Systemdaten GmbH

Obere Stegwiesen 26
88400 Biberach a.d. Riß
Tel.: 07351-47402-0, Fax: 07351-47402-31
e-mail: info@toposys.com
Internet: <http://www.toposys.com>