

PRG

Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation

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

Jahrgang 2008, Heft 5

Hauptschriftleiter:
Prof. Dr.-Ing. Helmut Mayer

Schriftleiter:
Prof. Dr. rer. nat. Carsten Jürgens, Prof. Dipl.-Ing. Thomas P. Kersten,
Prof. Dr. rer. nat. Lutz Plümer und Dr.-Ing. Eckhardt Seyfert

Redaktionsbeirat (Editorial Board): Clement Atzberger, Andrew Frank, Christian Heipke, Joachim Hill, Patrick Hostert, Hans-Gerd Maas, Wolfgang Reinhardt, Franz Rottensteiner, Jochen Schiewe



E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung
(Nägele u. Obermiller) Stuttgart 2008



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

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



International Society
for Photogrammetry
and Remote Sensing

DAGM

Deutsche Arbeits-
gemeinschaft für
Mustererkennung e.V.



Herausgeber:

© 2008 Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) e.V.
Präsidentin: Prof. Dr. Cornelia Gläßer, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Institut für Geowissenschaften, Von-Seckendorff-Platz 4, D-06120 Halle, Tel.: +49 (0) 345 55-26020

Geschäftsstelle: Dr. Klaus-Ulrich Komp, c/o EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH, Oststraße 2–18, D-48145 Münster, e-mail: klaus.komp@eftas.com

Published by:

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

Internet: <http://www.schweizerbart.de>

© Gedruckt auf alterungsbeständigem Papier nach ISO 9706-1994

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

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

Verantwortlich für den Inhalt der Beiträge sind die Autoren.

ISSN 1432-8364

Hauptschriftleiter: Prof. Dr.-Ing. Helmut Mayer, Institut für Geoinformatik und Computer Vision, Universität der Bundeswehr München, D-85577 Neubiberg, e-mail: Helmut.Mayer@unibw.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, Prof. Dipl.-Ing. Thomas P. Kersten, HafenCity Universität Hamburg, Department Geomatik, Hebebrandstr. 1, D-22297 Hamburg, e-mail: thomas.kersten@hcu-hamburg.de, Prof. Dr. rer. nat. Lutz Plümer, Universität Bonn, Institut für Geodäsie und Geoinformation, Meckenheimer Allee 172, D-53115 Bonn, e-mail: Lutz.Pluemmer@ikg.uni-bonn.de und Dr.-Ing. Eckhardt Seyfert, Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg, Heinrich-Mann-Allee 107, D-14473 Potsdam, e-mail: eckhardt.seyfert@geobasis-bb.de

Erscheinungsweise: 6 Hefte pro Jahrgang.

Bezugspreis im Abonnement: € 126,- pro Jahrgang. Mitglieder der DGPF erhalten die Zeitschrift kostenlos.

Anzeigenverwaltung: Dr. E. Nägele, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Johannesstraße 3A, D-70176 Stuttgart, Tel.: 0711 351456-0; Fax: 0711 351456-99.

e-mail: mail@schweizerbart.de, Internet: <http://www.schweizerbart.de>

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

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

PFG – Jahrgang 2008, Heft 5

Inhaltsverzeichnis

10 Jahre IPI unter neuer Leitung und 20 Jahre EFTAS

HEIPKE, C.: Editorial: 10 Jahre IPI unter neuer Leitung	313
KOMP, K.-U.: Editorial: Zwei Jahrzehnte Entwicklung der angewandten Fernerkundung	319

Originalbeiträge

JACOBSEN, K.: Geometrisches Potential und Informationsgehalt von großformatigen digitalen Luftbildkameras	325
MALLET, C., BRETAR, F. & SOERGEL, U.: Analysis of Full-Waveform Lidar Data for Classification of Urban Areas	337
SCHRAMM, M., LANDMANN, T., LOHMANN, P. & HEIPKE, C.: Ein neues Modell für eine spektrale Entmischung ohne genaue Endmemberspektren	351
FUJIMURA, H., ZIEMS, M. & HEIPKE, C.: De-generalization of Japanese Road Data Using Satellite Imagery	363
RAVANBAKHS, M., PAKZAD, K. & HEIPKE, C.: Automatic Extraction of Traffic Islands from Aerial Images	375

Aus Wissenschaft und Technik

WIGGENHAGEN, M.: Anwendungsbeispiele der Nahbereichsphotogrammetrie in der Automobilindustrie	385
BÜSCHER, O., BUCK, O., LOHMANN, P., HOFMANN, P., MÜLLER, S., SCHENKEL, R., & WEISE, C.: Einsatz von Change Detection Methoden zur Fortführung von DeCOVER Objektarten	395
HAUB, C., IJAIMI, A.A., SAAD, N.A.M., EL SHEIKH EL BASHIR, H., KHAMALA, E., BYDEKERKE, L., HOLECZ, F., TYCHON, B., RAGNI, P., VIGNAROLI, P., HENDRICKX, G., & HEYLEN, C.: Crop Mapping Services for the Sudanese Government in Frame of the ESA Global Service Element “Global Monitoring for Food Security”	409
BÜKER, C. & DITZ, P.: Fernerkundungskontrolle von europäischen Agrarbeihilfen für Acker- und Futteranbauflächen	421
VAUPEL, W. & RÖßMANN, H.: Siedlungswasserwirtschaftliche Management- und Planungsunterlagen erhalten mehr Sicherheit durch photogrammetrische Methoden	433
KLINK, A., LÜCKE, C., VÖLKER, A., HÖKE, S. & ROLF, M.: Semiautomatische Luftbildauswertung zur Erfassung von Siedlungs- und Verkehrsflächen als Unterstützung des nachhaltigen Flächenmanagements	441

Berichte und Mitteilungen

Mitteilungen der DGPF	
ESRI Absolventenprogramm feiert den 1000. Teilnehmer	453
Berichte von Veranstaltungen	
Symposium „Geoinformatics paves the Highway to Digital Earth“ am 13.06.2008 an der Universität Osnabrück	453

Hochschulnachrichten

MATTHIAS BUTENUTH erhält Otto von Gruber Award 2008	455
Leibniz Universität Hannover Dissertation MATTHIAS BUTENUTH	456
Leibniz Universität Hannover Dissertation MEHDI RAVANBAKHSH	457
Leibniz Universität Hannover Dissertation ALEXANDER BRZANK	458
Leibniz Universität Hannover Dissertation RALPH SCHMIDT	459
Stiftungspreis der Ingenieurkammer Niedersachsen für KARSTEN RAGUSE	461

Buchbesprechungen

WÄLDER, O. (Mathematical Methods for Engineers and Geoscientists)	462
Neuerscheinungen	462
Veranstaltungskalender	463
Zum Titelbild	464
Korporative Mitglieder	465

Zusammenfassungen der „Originalbeiträge“ und der Beiträge „Aus Wissenschaft und Technik“
(deutsch und englisch) sind auch verfügbar unter www.dgpf.de/neu/pfg/ausgaben.htm

Editorial: 10 Jahre IPI unter neuer Leitung

CHRISTIAN HEIPKE, Hannover

Am 1. 10. 1998, also vor fast genau 10 Jahren, ging die Leitung des Instituts für Photogrammetrie und GeoInformation (IPI) der heutigen Leibniz Universität Hannover von Prof. GOTTFRIED KONECNY auf den Autor über. Das IPI, gegründet im Jahre 1949 von Konecnys Vorgänger, Prof. GERHARD LEHMANN (siehe KONECNY 1999 für einen Überblick über die Entwicklung des Instituts und HEIPKE 2000; SCHROEDER 2005 für eine Beschreibung der beispiellosen Erfolge von KONECNY), hat dieses kleine Jubiläum zum Anlass genommen, die letzten 10 Jahre Revue passieren zu lassen und ein wenig Bilanz zu ziehen. Die Artikel in diesem Sonderheft stellen das Ergebnis dar.

Photogrammetrie und Fernerkundung haben in den letzten 10 Jahren einen einschneidenden Wandel erfahren (ein Zwischenstand zur „Halbzeit“ findet sich bei HEIPKE 2003) und in der öffentlichen Wahrnehmung stark an Bedeutung gewonnen, nicht zuletzt durch die Entwicklungen im Zusammenhang mit Google Earth und Microsoft Virtual World. Dies wird deutlich, wenn man sich die Fortschritte bei den Sensoren vor Augen führt: 1998 – das war ein Jahr vor dem ersten erfolgreichen Start eines zivilen optischen Satelliten mit einer Bodenauflösung von einem Meter (und 9 Jahre vor dem Start des ersten Radarsatelliten derselben Bodenauflösung) sowie 2 Jahre vor der Shuttle Radar Topography Mission SRTM. Digitale Luftbildkameras gab es bestenfalls auf dem Reißbrett weniger Entwicklungsingenieure, auch Laserscanner und SAR-Systeme hatten bei weitem noch nicht die heutige Bedeutung. Kaum jemand arbeitete mit kombinierten GPS- und Kreiselsystemen zur Unterstützung der Bildorientierung und Mobiltelefone mit integrierten, kostengüns-

tigen Kameras gab es auch noch nicht, genauso wenig wie Geosensornetze mit bildgebenden Sensoren. Diesen Entwicklungen hat das IPI mit der Einrichtung einer Juniorprofessur im Bereich Radarfernerkundung Rechnung tragen können, die seit Ende 2005 mit Prof. UWE SÖRGEL besetzt ist, der die Arbeiten des Instituts nachhaltig prägt und das Profil in hervorragender Weise ergänzt.

Ähnliche Entwicklungen finden sich bei der photogrammetrischen Auswertung der Bilddaten: 1998 steckte die automatische Aerotriangulation noch in den Kinderschuhen, die Nutzung und Weiterentwicklung von Algorithmen des Computersehens auf der Grundlage geometrischer, statistischer und physikalischer Ansätze (siehe z. B. Arbeiten zum Trifokaltensor, zu Bayesnetzen und Markov-Zufallsfeldern, zu Support Vector Machines und zu Snakes) hatte gerade erst begonnen, objekt-basierte Modellierung und Klassifikation waren bei weitem noch nicht so ausgereift wie heute. Die photogrammetrische Auswertung glich einem linearen Prozess von der Bildaufnahme bis zur (manuellen) Erfassung von Vektordaten aus den Bildern. Heute steht dagegen vermehrt die Datenbank eines Geoinformationssystems im Zentrum der Aktivitäten, und diese Datenbank wird regelmäßig bzw. kontinuierlich aktualisiert, erweitert und mit anderen Daten angereichert. Mit dieser Entwicklung einher ging eine deutliche Annäherung der Bereiche Photogrammetrie und Fernerkundung mit GIS (s. auch HEIPKE 2004), was sowohl zu der Umbenennung des Instituts im Jahre 2001 als auch zu vielen gemeinsamen Projekten mit dem benachbarten von Prof. MONIKA SESTER geleiteten Institut für Kartographie und Geoinformatik (ikg) geführt hat.

In den letzten 10 Jahren waren wir also alle Zeugen einer Reihe spannender und teilweise umwälzender Ereignisse in Photogrammetrie und Fernerkundung. Manche davon kamen aus der Disziplin selbst, viele andere wurden von außen an sie herangetragen. Wichtig ist dabei, auch im übertragenen Sinne immer wieder einen Blick aus der Vogelperspektive zu wagen, um die wesentlichen Herausforderungen erkennen und dann zielgerichtet angehen zu können. Diese auf einem interdisziplinären Ansatz beruhende Vorgehensweise bildet die Grundlage der international ausgerichteten Aktivitäten des IPI: der Blick auf die Erde aus dem Weltraum lässt die Vernetzung über nationale Grenzen hinweg als ganz natürlich erscheinen – für viele der heute anstehenden Herausforderungen birgt ein solcher Ansatz Vorteile, manchmal ist er zur Lösung der gestellten Aufgaben unabdingbar.

Wissenschaftlich beschäftigt sich das IPI mit den Möglichkeiten und Grenzen der Automation innerhalb von Photogrammetrie und Fernerkundung auf der Grundlage digitaler Bilddaten sowie deren Verbindungen zu Computer Vision und GIS. Die vier Schwerpunkte des Instituts sind:

- Geometrische Aspekte von Sensoren und Bildern (Multisensorgeometrie, Bildorientierung und Bündelausgleichung, Bildzuordnung, Potenzial von Luft- und Weltraumbildern zur Erfassung von Geoinformation)
- Interpretation von Fernerkundungsdaten (Verarbeitung und Analyse von SAR- und Laserscannerdaten, SAR-Interferometrie, Fusion unterschiedlicher bildhafter Sensordaten)
- Automatische Bildinterpretation (Interpretation von hoch aufgelösten Bildern, multitemporale, multiskalige und multisensorielle Interpretation, Qualitätskontrolle von Geodaten)
- Nahbereichsphotogrammetrie (Untersuchung von digitalen bildgebenden Sensoren, videobasierte Verfahren zur 3D-Objektrekonstruktion, Anwendungen in Industrie und Architektur)

Dabei ruhen die Aktivitäten des Instituts, das derzeit ca. 30 Mitarbeiter zählt, auf drei

Säulen: neben Projekten, die der Grundlagenforschung zuzuordnen sind und meist von der DFG unterstützt werden (z. B. zur Bildanalyse) arbeiten wir, oft mit Finanzierung des BMBF und der EU Kommission, im Bereich der angewandten Forschung (etwa, wenn es um die photogrammetrische Auswertung der Bilddaten der Mars Express Mission geht) sowie in Pilotprojekten zusammen mit öffentlichen und privaten Auftraggebern (z. B. im Automobilbau). In vielen Fällen werden die Projekte in enger Kooperation mit in- und ausländischen Partnern durchgeführt. Alle drei Bereiche sind für Forschung und Entwicklung im Ingenieurwesen von entscheidender Bedeutung und müssen zusammen betrachtet werden, wenn eine Forschungsidee erfolgreich in die Praxis umgesetzt werden soll. Diese Überlegung hat auch dazu geführt, dass wir zu diesem Heft sowohl Originalbeiträge als auch Berichte aus Wissenschaft und Technik beige-steuert haben.

Ein weiterer wichtiger Punkt, der schon kurz anklang, ist die internationale Ausrichtung der Arbeiten. Schon seit vielen Jahren sind immer wieder Wissenschaftler aus anderen Ländern für kurze oder längere Zeit am Institut tätig. Viele von ihnen promovieren, ausgestattet mit Stipendien des DAAD, ihres Heimatlandes oder von deutschen und internationalen wissenschaftlichen Förderinstitutionen wie der Alexander von Humboldt-Stiftung. Geographische Schwerpunkte waren in den letzten Jahren Brasilien, China, Frankreich und die Türkei, erwähnenswert ist auch, dass derzeit fünf Doktoranden aus dem Nahen Osten, davon drei aus dem Iran, am IPI promovieren. Nicht zuletzt sind bei drei der sieben Artikel in diesem Heft ausländische Gäste Mitautoren.

Auch der ISPRS Hannover Workshop „High-resolution earth imaging for geospatial information“, den das IPI alle zwei Jahre mit mehr als 100 Teilnehmern ausrichtet (siehe z. B. das gleichnamige PFG Sonderheft vom Dezember 2005), soll kurz erwähnt werden. Im nächsten Jahr wird es wieder so weit sein, der Workshop findet in der Woche vom 2.–5. Juni 2009, direkt nach

Pfingsten statt, diesmal zusammen mit der AGILE Tagung 2009, die vom ikg organisiert wird – alle Leser mögen sich schon jetzt zu beiden Tagungen sehr herzlich eingeladen fühlen.

Unsere Arbeiten der letzten 10 Jahre haben ihren Niederschlag in vielen Forschungs- und Entwicklungsprojekten, einer Fülle von Veröffentlichungen und 13 Dissertationen gefunden. Für die erzielten Erfolge wurden Mitglieder des Instituts mehrfach ausgezeichnet, erwähnt seien hier der Photogrammetric Award der ASPRS (2000), die Ehrendoktorwürde der Moskauer Staatlichen Hochschule für Geodäsie und Kartographie MIIGAiK (2004) sowie die Ehrenprofessur der Sibirischen Akademie für Geodäsie (2007) für Prof. KONECNY, der Catcon Award (2004), der ISPRS für die beste eLearning Software des ISPRS Kongresses in Istanbul für M. Sc. JONATHAN HAIG, der Carl Pulfrich-Preis (2007) für Dr. MARKUS GERKE (zusammen mit Dr. ANDREAS BUSCH vom Bundesamt für Geodäsie und Kartographie und Dr. SÖNKE MÜLLER vom Institut für Informationsverarbeitung der Leibniz Universität Hannover; Herr Müller arbeitet inzwischen am IPI), der Otto von Gruber-Preis der ISPRS (2008) für Dr. MATTHIAS BUTENUTH, der Preis der Ingenieurkammer Niedersachsen (2008) für Dr. KARSTEN RAGUSE sowie der Karl Kraus Nachwuchsförderpreis (2008) der DGPF für Dipl.-Ing. MATTHIAS ROLAND.

Das vorliegende Sonderheft bietet einen Einblick in aktuelle Arbeiten des IPI. Er ist allerdings nicht ganz vollständig, denn eine Reihe von Arbeiten wurde bereits früher in der PFG oder in anderen wissenschaftlichen Zeitschriften veröffentlicht (s. Literaturliste am Ende des Editorials). Soweit rechtlich möglich sind alle Veröffentlichungen auch im Internet verfügbar, darüber hinaus geben wir diese jährlich auf CD heraus.

Im ersten Artikel *Geometrisches Potential und Informationsgehalt von großformatigen digitalen Luftbildkameras* beschreibt KARSTEN JACOBSEN den aktuellen Stand der digitalen Luftbildkameras anhand vielfältiger Testdaten. Mit den Kameras aller namhaften Anbieter wurde vor kurzem das Testge-

biet Franklin Mills in den USA befliegen, diese Daten werden einem systematischen Vergleich unterzogen, dazu kommen noch Bilder einer analogen photogrammetrischen Kamera. Die Testergebnisse zeigen eindrucksvoll, dass digitale Luftbildkameras hinsichtlich der geometrischen Genauigkeit und der erkennbaren Details den analogen Kameras mindestens gleichwertig sind, wenn eine Bündelausgleichung mit Selbstkalibrierung verwendet wird.

CLÉMENT MALLET vom Institut Géographique National (IGN), Paris, sowie UWE SÖRGEL zeigen in ihrem Artikel *Analysis of Full-Waveform Lidar Data for Classification of Urban Areas* die Möglichkeiten auf, die so genannte full-waveform Laserscanner bieten. Dabei werden das ausgesandte und das empfangene Signal mit hoher Frequenz abgetastet und als Summe generalisierter Gaußkurven modelliert. Diese Daten lassen sich zu einer deutlich verbesserten Klassifizierung der Landbedeckung mit Hilfe einer Support Vector Machine verwenden.

Der Beitrag von MATTHIAS SCHRAMM, TOBIAS LANDMANN (Universität Würzburg), PETER LOHMANN und CHRISTIAN HEIPKE mit dem Titel *Ein neues Modell für eine spektrale Entmischung ohne genaue Endmemberspektren* widmet sich der in der Fernerkundung schon lange bekannten Mischpixelproblematik. In einem neuen Ansatz werden aus multi-spektralen Bildern in einer Ausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate sowohl die Anteile der Endmember pro Pixel als auch deren genaue Spektren geschätzt. Voraussetzung ist, dass kleine Nachbarschaften aus denselben Endmembers bestehen. Erste Ergebnisse deuten darauf hin, dass im Vergleich zu herkömmlichen Ansätzen mit der neuen Methode eine deutlich höhere Genauigkeit erreichbar ist.

HIDENORI FUJIMURA vom japanischen Geographical Survey Institut (GSI), Tsukuba, MARCEL ZIEMS und CHRISTIAN HEIPKE haben in dem Beitrag *De-generalization of Japanese Road Data Using Satellite Imagery* ein Problem aufgegriffen, das in vielen staatlichen Vermessungsverwaltungen besteht: um kartographisch generalisierte Vektordaten automatisch fortführen und mit Daten

besserer geometrischer Genauigkeit kombinieren zu können, müssen erst die Generalisierungseffekte rückgängig gemacht werden. Am Beispiel des Straßennetzes der amtlichen japanischen Datenbank NTIS wurde dazu auf der Grundlage aktueller Satellitenbilder ein neuer, praktisch anwendbarer Ansatz entwickelt, der in dem Artikel beschrieben wird. Der Ansatz wird inzwischen erfolgreich am GSI eingesetzt.

Der Artikel *Automatic Extraction of Traffic Islands from Aerial Images* von MEHDI RAVANBAKHSI, KIAN PAKZAD und CHRISTIAN HEIPKE ist der Bildanalyse zuzuordnen. Aus hoch aufgelösten Luftbildern und Mittelachsen von Straßen werden automatisch detaillierte Kreuzungsmodelle erstellt, die z. B. für Fahrzeugnavigationssysteme der nächsten Generation genutzt werden können. Dazu setzen die Autoren parametrische und geometrische aktive Konturmodelle (snakes und level sets) ein. Die Ergebnisse zeigen das Potenzial des neuen Ansatzes eindrucksvoll auf.

Im Beitrag mit dem Titel *Anwendungsbeispiele der Nahbereichsphotogrammetrie in der Automobilindustrie* gibt MANFRED WIGGENHAGEN einen Überblick über Projekte, die das IPI in den letzten Jahren in Zusammenarbeit mit der deutschen Automobilindustrie in den Bereichen Fahrzeugsicherheit und hochpräzise Punktbestimmung abgeschlossen hat. Deutlich wird dabei auch, dass derartige Projekte und vor allem ein langer Atem für die Akzeptanz der Photogrammetrie außerhalb unseres ureigenen Anwendungsbereichs von entscheidender Bedeutung sind. Insbesondere bei der Volkswagen AG sind viele der Projektideen inzwischen in die tägliche Praxis eingeflossen, was auch einen wichtigen Erfolg der Arbeiten darstellt.

OLAF BÜSCHER, OLIVER BUCK (EFTAS, Münster), PETER LOHMANN, PETER HOFMANN, SÖNKE MÜLLER, ROBERT SCHENKEL (GDS Jena) und CHRISTIAN WEISE (Definiens, München) beschreiben in dem gemeinsam von IPI und EFTAS verfassten Beitrag *Einsatz von Change Detection Methoden zur Fortführung von DeCOVER Objektarten* gemeinsame Arbeiten, die sie im Rahmen des

Projekts DeCOVER durchgeführt haben. DeCOVER ist ein wesentlicher Beitrag Deutschlands zum europäischen GMES-Projekt, dabei geht es um die Entwicklung eines Verfahrens zur Aktualisierung von Landbedeckungsdaten für öffentliche Aufgaben. Der vorliegende Artikel führt in das Projekt ein und diskutiert im Detail die Arbeiten zur Änderungsdetektion in Satellitenbildern unterschiedlicher Aufnahmezeitpunkte.

Zum Schluss möchte ich mich bei allen ehemaligen und derzeitigen Mitarbeitern des IPI für den großen Einsatz, die hervorragenden Leistungen und das lockere und positive Arbeitsklima bedanken, das am Institut herrscht. Unseren Partnern von nah und fern, aus der Universität, der Region Hannover, aus Deutschland und der Welt sei für ihre ständige Bereitschaft gedankt, mit uns zusammenzuarbeiten und gemeinsam neue Wege zu gehen. Besonders erwähnen möchte ich in diesem Zusammenhang die Firma EFTAS und deren Geschäftsführer Dr. KLAUS-ULRICH KOMP und GEORG ALTROGGE. Das IPI arbeitet seit Jahren mit der EFTAS vertrauensvoll zusammen (siehe z. B. den Beitrag BÜSCHER et al. in diesem Heft), auch das vorliegende Sonderheft haben wir gemeinsam gestaltet. Die EFTAS feiert in diesen Tagen 20-jähriges Bestehen, das IPI gratuliert herzlich zu diesem runden Geburtstag. Danken möchte ich auch allen Kollegen und Mitarbeitern der Fachrichtung Geodäsie und Geoinformatik der Leibniz Universität Hannover, die durch kollegialen und freundschaftlichen Umgang und das dem IPI entgegengebrachte Vertrauen dazu beitragen, dass wir uns blind aufeinander verlassen und uns den eigentlichen Aufgaben in Forschung und Lehre widmen können. Diese keineswegs selbstverständliche Zusammenarbeit macht die Arbeit in Hannover angenehm und inspirierend.

Allen Autoren sei herzlich für ihr Engagement in einer von Terminen nicht ganz freien Zeit mitten im Semester und kurz vor dem ISPRS Kongress in Beijing herzlich gedankt. Die Gutachter haben wesentlich zur Verbesserung der Artikel beigetragen, auch ihnen gebührt unser aufrichtiger Dank.

Schließlich danke ich der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation, und insbesondere dem Hauptschriftleiter der PFG, meinem lieben Freund Prof. HELMUT MAYER, für die Möglichkeit, dieses Heft gestalten zu dürfen und für all die Unterstützung, die wir dabei erfahren haben. HELMUT MAYER hat der PFG seit der Übernahme der Hauptschriftleitung bereits viele Impulse auf dem Weg in die wissenschaftliche Exzellenz gegeben, erwähnt sei hier lediglich, dass nicht nur die Originalbeiträge, sondern auch die Berichte aus Forschung und Praxis inzwischen einer strengen Begutachtung unterzogen werden und damit weiter an Qualität und Attraktivität gewinnen.

Photogrammetrie und Fernerkundung stellen weltweit einen essentiellen Bestandteil von Geodäsie und Geoinformatik dar. Sie haben ihren Platz im Bereich der Erfassung, Aktualisierung und photorealistischen Visualisierung von Geoinformationen, bei der optischen 3D Messtechnik, der bildgestützten Navigation und bei der Erdbeobachtung für verschiedenste Zwecke, z. B. die Regionalplanung, den Umweltschutz und die Land- und Forstwirtschaft. Wir vom IPI hoffen, dass wir diese Entwicklungen auch weiterhin aus Sicht von Forschung und Entwicklung mit gestalten können und dass die Leser unsere Beiträge mit Freude lesen und dabei vielleicht zu eigenen, weitergehenden Gedanken angeregt werden. Sollte dabei die Idee aufkommen, mit uns kooperieren zu wollen, so würde uns das besonders freuen.

Referenzen

im Text zitierte Arbeiten

- HEIPKE, C., 2000: Professor Dr.-Ing. mult. Gottfried Konecny zum 70. Geburtstag. – Zeitschrift für Vermessungswesen **125** (6): 218–220.
- HEIPKE, C., 2003: Photogrammetrie und Fernerkundung – vom Elektronenmikroskop bis zur Planetenbeobachtung. – Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation **2003** (3): 165–180.
- HEIPKE, C., 2004: Some requirements for geographic information systems: a photogrammetric

point of view. – Photogrammetric Engineering & Remote Sensing **70** (2): 185–195.

- KONECNY, G., 1999: Die Anfänge der Photogrammetrie in Hannover. – http://www.ipi.uni-hannover.de/fileadmin/institut/pdf/50_jahre_ipi_22.pdf (7. 6. 2008).
- SCHROEDER, M., 2005: 25 Years Space Photogrammetry in Germany – a Research Field initiated by Gottfried Konecny. – Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation **2005** (6): 467–476.

Auswahl an wissenschaftlichen Arbeiten des IPI 2006–2008

- BRZANK, A., HEIPKE, C., GÖPFETR, J. & SÖRGEL, U., 2008: Aspects of generating precise digital terrain models in the Wadden Sea from lidar – water classification and structure line extraction. – ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, doi:10.1016/j.isprsjprs.2008.02.002.
- BUTENUTH, M., 2007: Segmentation of imagery using network snakes. – Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation **2007** (1): 7–16.
- BUTENUTH, M., VON GÖSSELN, G., TIEDGE, M., HEIPKE, C., LIPECK, U. & SESTER, M., 2007: Integration of heterogeneous geospatial data in a federated database. – ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing **62** (5): 328–346.
- GERKE, M. & HEIPKE, C., 2008: Image based quality assessment of road databases. – International Journal of Geoinformation Science **22** (8): 871–894.
- GROTE, A., BUTENUTH, M. & HEIPKE, C., 2007: Road part extraction for the verification of suburban road databases. – Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation **2007** (6): 437–445.
- HEIPKE, C., OBERST, J., ALBERTZ, J., ATTWENGER, M., DORNINGER, P., DORRER, E., EWE, M., GEHRKE, S., GWINNER, K., HIRSCHMÜLLER, H., KIM, J.R., KIRK, R.L., MAYER, H., MULLER, J.-P., RENGARAJAN, R., RENTSCH, M., SCHMIDT, R., SCHOLTEN, F., SHAN, J., SPIEGEL, M., WÄHLISCH, M., NEUKUM, G. & the HRSC Co-Investigator Team, 2007: Evaluating planetary digital terrain models – the HRSC DTM test. – Planetary and Space Science **55** (14): 2173–2191.
- HEUWOLD, J., PAKZAD, K. & HEIPKE, C., 2008: Automatic adaptation of image analysis models for 2D landscape objects to a coarser image resolution. – Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation, **2008** (3): 197–206.

- KOCH, A. & HEIPKE, C., 2006: Semantically correct 2.5D GIS data – The integration of a DTM and topographic vector data. – *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* **61** (1): 23–32.
- LENK, U. & HEIPKE, C., 2006: The radial topology algorithm – a new approach for deriving 2.5D GIS data models. – *Geoinformatica* **10** (4): 447–468.
- LOHSE, V., HEIPKE, C. & KIRK, R.L., 2006: Derivation of planetary topography using multi-image shape-from-shading. – *Planetary and Space Science* **54** (7): 661–674.
- MICHAELSEN, E., SÖRGEL, U. & THÖNNESSEN, U., 2006: Perceptual Grouping for Automatic Detection of Man-Made Structures in High-Resolution SAR Data. – *Pattern Recognition Letters, Special Issue Pattern Recognition in Remote Sensing* **27** (4): 218–225.
- MOTA, G.L.A., FEITOSA, R.Q., COUTINHO, H.L.C., LIEDTKE, C.-E.; MÜLLER S., PAKZAD K. & MEIRELLES, M.S.P., 2007: Multi-temporal fuzzy classification model based on class transition possibilities. – *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* **62** (3): 186–200.
- RAGUSE, K. & HEIPKE, C., 2008: Synchronization of Image Sequences – A Photogrammetric Method. – *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, in print.
- REDWEIK, P. & JACOBSEN, K., 2007: Handling uncalibrated GPS/IMU Data for Medium Scale Mapping. – *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation* **2007** (2): 99–108.
- SÖRGEL, U. (Hrsg.), 2008: Schwerpunkttheft „Differenzielle SAR-Interferometrie“ – *Allgemeine Vermessungs-Nachrichten* **115** (7).
- STILLA, U. & SÖRGEL, U., 2006: Reconstruction of Buildings in SAR Imagery of Urban Areas. – In: WENG, Q., QUATTROCHI, D. (Hrsg.): *Urban Remote Sensing: Taylor & Francis, CRC Press Inc.*, 47–68.
- THIELE, A., THÖNNESSEN, U., CARDARIO, E., SCHULZ, K. & SÖRGEL, U., 2007: Building Recognition from Multi-Aspect High Resolution InSAR Data in Urban Areas. – *IEEE Transactions of Geoscience and Remote Sensing* **45** (11): 3583–3593.
- WENDT, A., 2007: A concept for feature based data registration by simultaneous consideration of laser scanner data and photogrammetric images. – *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* **62** (2): 122–134.
- WENDT, A. & HEIPKE, C., 2007: Area-based orientation of brightness, range and intensity images. – *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation* **2007** (3): 187–198.
- WOLF, B.-M. & HEIPKE, C., 2007: Automatic extraction and delineation of single trees from remote sensing data. – *Machine Vision and Applications* **18** (5): 317–330.
- Zhang, Y., Heipke, C., Butenuth, M. & Hu, X., 2006: Automatic extraction of wind erosion obstacles by integration of GIS data, DSM and stereo images. – *International Journal of Remote Sensing* **27** (8): 1677–1690.

Anschrift des Autors:

Prof. Dr.-Ing. CHRISTIAN HEIPKE, Institut für Photogrammetrie und GeoInformation (IPI), Leibniz Universität Hannover, Nienburger Str. 1, 30167 Hannover, Tel.: +49-511-762-2482, Fax: +49-511-762-2483, E-mail: heipke@ipi.uni-hannover.de

Editorial: Zwei Jahrzehnte Entwicklung der angewandten Fernerkundung

KLAUS-ULRICH KOMP, Münster

1 Ausgangslage

Die Satellitenfernerkundung unterschied sich in der zweiten Hälfte der achtziger Jahre im Hinblick auf ihre operationellen Anwendungen deutlich von photogrammetrischen Methoden. Ihre oft noch experimentellen Pilotanwendungen litten unter deutlichen Sprüngen in der Bodenauflösung zwischen flugzeuggetragenen Kamera-Film-Systemen einerseits und satellitengetragenen Scanner-Systemen andererseits. In Mitteleuropa, wo die Stadt- und Umweltverwaltungen über Karten aus Luftaufnahmen in Maßstäben 1:5.000 und größer verfügten, konnte man mit Pixelgrößen zwischen 10 m und 28 m praktisch keine Nutzer finden. So erschien es nur natürlich, dass bei Gründung der EFTAS (Entwicklungsprojekte – Fernerkundung – Technologietransfer – Angewandte Ökologie – Systemberatung) im Jahre 1988 der Fokus eindeutig auf Anwendungen in Entwicklungsländern und für regionale Übersichtskartierungen lag.

Trotzdem wurde damals von Kartographen und Geographen die Erdbeobachtung mit Satelliten als „zweite Entschleierung der Erde“ apostrophiert, weil man die Fläche nicht mehr vom Punktuellen her begreifen musste. Man konnte jetzt die gesamte Fläche sehen, klassifizieren, messen und beurteilen. Somit war eine neue Qualität in der Erdbeobachtung eröffnet, die zunächst den großflächigen Überblick erlaubte. Anschließend generierte sie mit neuen Sensoren und feineren Auflösungen auch neue Fragestellungen, z. B. Meeressalgenblüte oder tropische Biomassenermittlung.

2 Anwendungen für Entwicklungsländer

Die Ergebnisse der Landbedeckungsklassifizierungen in tropischen und subtropischen Ländern waren weitgehend geprägt durch bestimmte Anforderungen der damaligen Politik, wie z. B. das Tropenwaldaktionsprogramm der Bundesregierung oder die gebietsweise Erneuerung der Vegetationskartierungen der FAO (Food and Agricultural Organisation) der Vereinten Nationen. Das größte Projekt der noch jungen EFTAS zu dieser Zeit war der Fernerkundungsbeitrag zu einem umfassenden Managementprojekt natürlicher Ressourcen in der Republik Bénin in Westafrika. Neben der Institutionenförderung und der Schulung von Fachkräften umfasste das Projekt die Konzeption und Realisierung einer landesweiten Vegetationskartierung im Maßstab 1:100.000. Grundlage war zum ersten Mal die Satellitenbilddauswertung, ergänzt durch vegetationskundliche Geländeaufnahmen. Als Erfolgsbarometer kann man die Tatsache werten, dass, obwohl mit Ende der deutschen Projektförderung nur 20 der 46 Blätter fertig gedruckt waren, schon nach zwei weiteren Jahren die Erfolgsmeldung der landesweiten vollständigen Deckung aus Cotonou kam.

Zu den thematisch interessanten Projekten gehörte auch eine Studie für die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW), die in drei Provinzen Syriens landwirtschaftliche und bodenkundliche Kartierungen unter Zuhilfenahme von Fernerkundungs- und GIS-Techniken erforderte. Die Studie lieferte der KfW neben dem Ackerflächenpotential insbesondere Entscheidungsgrundlagen für die Investition in eine mechanische Entsteinung größerer Flächen mit Ackerbaupotential.

Westafrika wird vom Senegal bis zum Niger von einem großen Bogen der präkambriischen geologischen Formation des „Birrimien“ durchzogen, das aufgrund seiner Entstehungsgeschichte im Erdaltertum viele versprengte Goldvorkommen enthält. Deren Primärlagerstätten galt es zu erkunden. Die Satellitendatenaufbereitung wurde zunächst darauf ausgerichtet, zirkuläre Strukturen durch die Bildverarbeitung hervortreten zu lassen. Sie weisen auf heute eingegrumpfte Intrusivkörper mit sehr langsamer Erkaltung im Erdaltertum hin und können eine spezifische Sortierung edler Mineralien aufweisen. Typischerweise können sie neben Gold auch Zirkonium, Kupfer, Nickel und andere industriell interessante Vorkommen enthalten. Diese Arbeiten der EFTAS, die den Rohstoffgeologen vor Ort die Richtung für vielversprechende Bohrungen und Analysen vorgaben, haben Mitte der neunziger Jahre durch den fallenden Goldpreis ein jähes Ende erfahren – solange, bis steigende Rohstoffpreise die Investitionen in die Erkundung neuer Lagerstätten in politisch ruhigen Regionen wieder interessant machen werden.

Seit mehreren Jahren trägt die EFTAS zu einem GMES (Global Monitoring for Environment and Security) Service Element bei, bei dem die GIS- und Fernerkundungskomponenten für die Ernährungssicherung Afrikas weiter entwickelt und angewendet werden. In dem nachfolgenden Beitrag von C. HAUB et al. mit dem Titel *Crop Mapping Services for the Sudanese Government in Frame of the ESA GSE "Global Monitoring for Food Security"* werden die Aspekte der Kombination unterschiedlicher Satellitenauflösungen und agronomischer Stichproben für die Regierungsberatung näher erläutert.

Neben diesen aktuellen Arbeiten ist die EFTAS derzeit in Westafrika im Rahmen der Projektserie der Millennium Challenge Corporation der Vereinigten Staaten tätig, die zum Ziel hat, die Armut der ländlichen Bereiche Afrikas dadurch zu bekämpfen, dass die Zugangsrechte zum Boden sowohl juristisch als auch in der dörflichen Rezeption neu geregelt werden. Die EFTAS stellt derzeit für 12% der Landesfläche der

Republik Bénin Orthophotokarten 1:5.000 aus QuickBird Daten als Grundlage für die örtliche Verhandlung und Abgrenzung von Bodenordnungsplänen in den ersten 60 Pilotdörfern. So kehrt die Firma nach einem Jahrzehnt in ein früheres Projektland zurück. Gleichzeitig wird dort eine Neuausrichtung der Fernerkundungsanwendung entsprechend der weiter entwickelten Satelliten- und GIS-Technik vollzogen.

3 Unterstützung beim Aufbau der Mobilfunknetze

Bereits 1990 hatte die Firma Mannesmann ihrer erfolgreichen Bewerbung um die zweite Mobilfunklizenz in Deutschland eine von EFTAS erstellte Übersicht der Landnutzung in den neuen Bundesländern beigelegt. Damit war eine neue Serie operationeller Anwendungen der Satellitenfernerkundung geboren, die international unter der Bezeichnung Telecom-Clutter vielen Firmen ein neues Arbeitsfeld eröffnete. Zunächst nutzten überwiegend Autotelefone die D1- und D2-Netze, für die die Landnutzung nach Landsat-TM Daten ausreichte, um die Dämpfung der Funksignale zu prognostizieren und damit die Planung der Antennenstandorte vorzunehmen. Danach führte der Boom der immer kleiner und strahlungsärmer werdenden Mobiltelefone dazu, dass an die Netzplaner und auch an die Fernerkundler neue Anforderungen gestellt wurden. Einerseits erforderte die innerstädtische Nutzung durch Fußgänger die Berücksichtigung der dreidimensionalen Stadtgestalt, und andererseits erforderten geringere Sendeleistungen der Geräte eine Verdichtung und Neubewertung der Antennenstandorte. Für die Verdichtungszonen wurden photogrammetrische Methoden eingesetzt, und die Nachführung der 2D-Bereiche wurde weiter verfeinert und geschieht derzeit mit SPOT-Daten.

4 Die Entwicklung der MARS-Projekte

In der europäischen Entwicklung der Fernerkundungsanwendungen gab es seit Beginn

der neunziger Jahre den Begriff „MARS“, der nicht den roten Planeten, sondern das „Monitoring of Agriculture by Remote Sensing“ bezeichnete. Es handelt sich um eine Programmserie der Europäischen Kommission, die bis heute in Europa die einzige operationelle Anwendung der Fernerkundung mit gesetzlich vorgeschriebener jährlicher Wiederholung ist.

Im Jahr 1994 kamen dann die ersten Umsetzungen der neuen EG-Verordnungen zur Flächenbeihilfe zum Tragen, die eine Kontrolle der Subventionsanträge mit Hilfe der Satellitenfernerkundung erforderten. Die große Kompetenz der Agraringenieure der EFTAS sowie die Entwicklung eines eigenen Qualitätsmanagementsystems haben die Firma zu einem wichtigen Ansprechpartner bei der nationalen Umsetzung der Brüsseler Vorgaben werden lassen. Die Anfänge der von der Kommission vorgegebenen Methodik waren zunächst durch die Übernahme der amerikanischen Vorbilder gekennzeichnet, die für große industrielle Landwirtschaftsflächen auf Landsat-TM Daten basierten. Gleichzeitig versuchten die Vertreter französischer Interessen erfolgreich, die Anforderungen auf die Daten der SPOT-Satelliten hin zu präzisieren. So verwundert es nicht, dass die Stichprobenzonen für die europäische Agrarkontrolle einen Kreisdurchmesser von 50 km aufweisen, der mit Sicherheit von einer trapezförmigen SPOT-Szene von 60 km × 60 km gedeckt werden kann. In den 15 Jahren der Agrarkontrolle sind die Methoden laufend verfeinert worden, nicht zuletzt durch den Druck, mit den gestiegenen Anforderungen der europäischen Verordnungen Schritt zu halten. Die Messtoleranzen wurden mit den verfügbaren Satellitensensoren immer weiter reduziert und erfordern heute Luft- oder Satellitenaufnahmen mit Bodenauflösungen von einem Meter oder weniger. Gleichzeitig wurde seitens der Kommission die Einführung digitaler Parzelleninformationssysteme gefordert und anfangs auch gefördert. Für Mitgliedsstaaten wie Portugal oder Belgien war es relativ leicht, einen auf Orthophotos basierenden Neueinstieg zu finden. Leider hat die Rolle einiger AdV-Vertreter mit dem

Hinweis auf das deutsche Kataster diese Entwicklung hierzulande gebremst. So blieb Deutschland nichts anderes übrig, als erst verspätet auf orthophotogestützte Parzelleninformationssysteme einzuschwenken, nachdem die Übergangsbeihilfen dafür bereits seit Jahren ausgelaufen waren. Die EFTAS hat durch ihre Innovationskraft diesen Prozess in verschiedenen Bundesländern positiv begleitet: seit 2002 die Konzeption und Realisierung des landwirtschaftlichen GIS-Systems von Hessen, die Erstellung des Feldblockkatasters von Schleswig-Holstein und die vorbereitenden GIS-Arbeiten für Nordrhein-Westfalen. Neben den technischen Entwicklungen führten auch politische Neubewertungen der Gemeinsamen Agrarpolitik (GAP) zu neuen Anforderungen für die Fernerkundung. Standen in den 90er Jahren zunächst die Stilllegungen und die Bestimmung von Feldfrüchten unterschiedlicher Beihilfehöhe im Vordergrund, so überwiegen inzwischen die Erfüllung der sog. „Cross Compliance“ Vorschriften. Diese haben auf die Vorgehensweise bei der Auswertung der Satelliten- und Luftbilddaten großen Einfluss. Der Beitrag von C. BÜKER & P. DITZ zur *Fernerkundungskontrolle von europäischen Agrarbeihilfen für Acker- und Futteranbauflächen* gibt einen aktuellen Überblick zur Entwicklung der Verwaltungsanforderungen und deren technisch-organisatorischer Umsetzung.

5 Umweltmonitoring und Landbedeckungserhebungen

Die ersten Nutzerkreise in Europa, die in den 90er Jahren die damaligen Möglichkeiten der Satellitenfernerkundung zu schätzen begannen, waren die für Natur- und Umweltschutz zuständigen Fachverwaltungen. Auch wegen ihrer methodischen Vorreiterrolle sind die bayerischen und schleswig-holsteinischen Landesämter hervorzuheben, für die Übersichtskartierungen der Landbedeckung, Seeufer- oder Biotopflächenmonitoring durchgeführt wurden. Ebenso realisiert die EFTAS aktuell auch in Schleswig-Holstein federführend die erste Folgekartierung zum Flora Fauna Habitat (FFH) Mo-

onitoring. Auch hier kommen Impulse und gesetzliche Anforderungen zunehmend von der Europäischen Kommission in Form von Berichtspflichten, die die Mitgliedsstaaten in nationales Recht umzusetzen haben. Seit Beginn der 90er Jahre ist die EFTAS mit Kartierungen aus Satellitenbildern nach den Vorgaben des CORINE-Land-Cover (CLC) Programms der Europäischen Umweltagentur beteiligt, so auch derzeit bei der laufenden Aktualisierung des CLC 2006.

Die verschiedenen nationalen und europäischen Berichtspflichten, denen sich das Bundesumweltministerium ausgesetzt sieht, haben 2005 zur Implementierung eines Forschungs- und Entwicklungs- (F&E) Projektes mit dem Akronym DeCOVER geführt. Unter Federführung der EFTAS entwickeln zehn Partner aus Industrie und Hochschule ein Konzept, um mit innovativer Satellitentechnik Synergiepotentiale zu entwickeln, damit für mehrere Berichtspflichten sich räumliche Ergebnisse ableiten lassen. Der Beitrag von O. BÜSCHER et al. zum *Einsatz von Change Detection Methoden zur Fortführung von DeCOVER Objektarten* gibt einen aktuellen Überblick über den erreichten Forschungsstand.

Eine spezielle Anwendung von Landbedeckungskartierungen stellt die Herstellung von wasserwirtschaftlichen Planungsunterlagen dar. Zum einen dienen sie dem vorbeugenden Hochwasserschutz im weitesten Sinne. Die EFTAS hat zwischen 2000 und 2003 in Nachfolge des Oderhochwassers von 1997 mit Hilfe von Radaraufnahmen unterschiedlicher Polarisierung Untersuchungen zum Standfestigkeitsrisiko von Flussdeichen durchgeführt. Dieses F&E Projekt SediSAR konnte im Gelände nicht mehr erkennbare alluviale Altarmsysteme nachweisen, die eine Unterströmung der Flussdeiche begünstigen konnten. Mit stärkerem operationellem Bezug sind später photogrammetrische Auswertungen der Bühnenköpfe und Fluthindernisse im mittleren Verlauf der Elbe durchgeführt worden. Für die Niederlande wurden für sämtliche große Flussysteme über 3 Jahre die Aktualisierungskartierung der Vegetationsstrukturen und Strömungshindernisse als GIS-Bestand realisiert.

Für die Siedlungswasserwirtschaft stellt die weiter wachsende Flächenversiegelung ein Risiko für das Aufnahmevermögen der bestehenden Abwasserkanäle dar. Der Beitrag von W. VAUPEL & H. RÖßMANN mit dem Titel *Siedlungswasserwirtschaftliche Management- und Planungsunterlagen erhalten mehr Sicherheit durch photogrammetrische Methoden* erläutert auch die Anforderungen aus Sicht der verantwortlichen Wasserwirtschaftsverbände.

6 Neue Qualitäten durch Überschneidungen der Satellitenfernerkundung mit digitalen Luftbildsensoren

Die Projekte Anfang der 90er Jahre mit flugzeuggetragenen Sensoren, wie zum Beispiel dem programmierbaren Spektralsensor CASI, stellten wegen ihrer geometrischen Defizite eine große Herausforderung an die Georeferenzierung dar. Die EFTAS hat solche Daten für Umweltmonitoring-Projekte eingesetzt, bei denen die Zuordnung der Strahldichte zu spektralen Objekteigenschaften ökologisch bedeutsamer Flächen im Vordergrund stand. Dagegen konnten die analogen Ergebnisse von Luftaufnahmen keine quantitative Zuordnung bieten, allerdings eine geometrische Präzision, die mit den Zeilensensoren nicht erreichbar war. Inzwischen weisen digitale Sensoren in Satelliten nicht nur Stereofähigkeit, sondern auch Bodenauflösungen im Dezimeterbereich auf. Ebenso sind verschiedene Typen digitaler photogrammetrischer Luftbildkamern im Einsatz, die neben der klassischen photogrammetrischen Messung jetzt auch die Übertragung der Klassifizierungs- und Bildanalysemethoden aus der Fernerkundung in den Luftbildbereich ermöglichen.

Dadurch werden neue Anwendungsbereiche in weiteren Maßstabebenen erschlossen. Als ein Beispiel sei auf das F&E Projekt REFINA verwiesen, das den Einsatz von GIS- und Fernerkundungsmethoden zur Ermittlung städtischer Reserveflächen für eine Nachverdichtung und Umnutzung untersucht. Der Artikel von A. KLINK et al. mit

dem Titel *Semiautomatische Luftbilddauswertung zur Erfassung von Siedlungs- und Verkehrsflächen als Unterstützung des nachhaltigen Flächenmanagements* stellt einen Methodenbaustein dar, der die Reduktion der Flächeninanspruchnahme entsprechend den raumordnerischen Zielen unterstützen kann.

7 Ausblick

Die derzeit verfügbare Vielfalt von Sensoren erlaubt die zweckentsprechende Mischung verschiedener Sensoren sowohl für multitemporale Anwendungen als auch für Multi-Sensor-Anwendungen. Damit ist ein Stand erreicht, bei dem nicht mehr die Technik die Anwendung, sondern der Nutzer oder der Kunde vom zu erreichenden Ergebnis her den Methodenmix der Fernerkundung bestimmen kann. Die Durchdringung der flugzeuggetragenen Photogrammetrie mit digitalen Sensoren hoher geometrischer Qualität lässt die Anwendung von Auswertalgorithmen der Fernerkundung auch im großmaßstäbigen Bereich zu.

Der Versuch, die Entwicklung der Fernerkundung in Deutschland in gewisse Phasen einzuteilen, zeigt, dass diese nicht ohne zeitliche Überschneidungen und nicht ohne Wiederholungen auftreten. Dieses lässt den Schluss zu, dass es sich weniger um aufeinander folgende Phasen handelt, als um wiederkehrende Zyklen, die die gesamte Fernerkundungswirtschaft betreffen, aber nur jeweils unterschiedlich stark aufgegriffen wer-

den können. Es ist daher zu hoffen, dass sich die Zyklen der jeweiligen Aufgabengebiete so gegeneinander verschieben, dass sie der gesamten Erdbeobachtungs- und GIS-Wirtschaft einerseits immer weitere Impulse zur Prozessoptimierung aber andererseits auch Auslastung geben können.

Die weitere Zukunft ist dadurch gekennzeichnet, dass mit der ubiquitären Verfügbarkeit gleicher Softwarepakete im operationellen Bereich die Differenzen zwischen verschiedenen Anwendern schwinden. Die Dienstleistungsfirmen treten somit mit gleichen Voraussetzungen der Werkzeuge an. Die Unterschiede zeigen sich immer mehr in der Innovationskraft und in der Balance zwischen operationellen Anwendungen und F&E Aktivitäten. Dies gewährleistet Firmen in internationaler Konkurrenz die einzig mögliche Zukunftssicherung.

Für die Möglichkeit der Mitgestaltung dieses Schwerpunktheftes und die Aufnahme der vorgenannten Artikel in die PFG sage ich der DGPF und dem Schriftleiterteam unter Leitung von Prof. HELMUT MAYER meinen herzlichen Dank. Insbesondere möchte ich die freundschaftliche Zusammenarbeit mit den Kollegen vom IPI Hannover und ihrem Leiter Prof. CHRISTIAN HEIPKE bei der Konzeption und Realisierung des gemeinsamen Schwerpunktheftes dankend hervorheben.

Dr. KLAUS-ULRICH KOMP,
e-mail: Klaus.Komp@eftas.com

Geometrisches Potential und Informationsgehalt von großformatigen digitalen Luftbildkameras

KARSTEN JACOBSEN, Hannover

Keywords: Digital cameras, accuracy, resolution, information contents

Summary: *Geometric Potential and Information Contents of Large Size Digital Aerial Cameras.* A test area north of Philadelphia was flown with Vexcel Imaging UltraCamD, UltraCamX and Z/I Imaging DMC digital frame cameras as well as with the line scanner camera Leica ADS40 and the analogue RC30. The frame images have 60% overlap in both directions. The object resolution is approximately the same with ~ 5 cm ground sampling distance (GSD). 42 well defined control and check points are available with a standard deviation of better than 2 cm.

The image resolution must not correspond to the nominal values, by this reason the image resolution has been checked by edge analysis. Especially the pan-sharpened images show a loss of image quality, but in any case in the UltraCam image corners a lower image quality can be seen. The information contents of an analogue RC30 photo corresponds approximately to 8520^2 pixel of a digital camera.

By bundle block adjustment with self-calibration, using general and camera-specific additional parameters, the image geometry has been analysed. The resulting systematic image errors are partially so large, that they should be respected during data acquisition. The reached object point accuracy, determined at independent check points, is shown; this includes also the accuracy achieved with ADS40-images. With the new Vexcel Imaging software for merging the sub-images, quite better results can be reached than with the old software.

Zusammenfassung: Ein Testgebiet in der Nähe von Philadelphia wurde mit einer Vexcel Imaging UltraCamD, einer UltraCamX, einer Z/I Imaging DMC, der Zeilenkamera Leica ADS40, sowie einer analogen RC30 befliegen. Mit Ausnahme der ADS40 überdecken sich die Bilder um 60% in beiden Richtungen. Die Objektpixelgröße aller Aufnahmen beträgt ~ 5 cm. 42 Pass- und Vergleichspunkte mit einer Standardabweichung von besser als 2 cm sind vorhanden.

Die Bildauflösung muss nicht der nominellen Objektpixelgröße entsprechen, aus diesem Grund wurde sie mittels Kantenanalyse untersucht. Es zeigte sich, dass besonders die pan-geschärften Farbbilder und in jedem Fall die Ecken der UltraCam-Aufnahmen niedrigere Bildauflösungen haben. Die analoge RC30-Aufnahme hat einen Informationsgehalt, der etwa 8520^2 Pixeln einer digitalen Kamera entspricht.

Die Bildgeometrien konnten durch Bündelblockausgleichung mit Selbstkalibrierung durch allgemeine und kameraspezifische zusätzliche Parameter bestimmt werden. Die daraus resultierenden systematischen Bildfehler erreichen teilweise eine Größe, die bei der Einzelmodellauswertung berücksichtigt werden sollten. Die erzielbare Genauigkeit wurde mittels unabhängiger Vergleichspunkte ermittelt. Es zeigte sich, dass die neue Software von Vexcel Imaging zur Vereinigung der Teilbilder zu deutlich besseren Ergebnissen führt als die Alte.

1 Einleitung

Analoge Luftbildkameras werden schneller, als noch vor wenigen Jahren erwartet, durch digitale Kameras ersetzt. Die großformatigen digitalen Flächenbilder entstehen durch

Zusammensetzungen von Teilbildern, die mittels mehrerer Teilkameras erstellt werden. Bei dem Zusammenfügen der Teilbilder wird die Kamerakalibrierung der Teilkameras berücksichtigt, so dass die zusammengesetzten Bilder theoretisch keine systemati-

schen Bildfehler haben sollten. Die Praxis zeigt allerdings etwas anderes. Die sich ergebenden kameraspezifischen systematischen Bildfehler können nicht mit den traditionellen Kombinationen zusätzlicher Parameter ausreichend erfasst werden, hier empfehlen sich speziell angepasste zusätzliche Parameter.

Zeilenkameras, wie die Leica ADS40, haben eine völlig anders geartete Bilderfassung. Jede Zeile hat eine andere äußere Orientierung, die mittels einer Kombination relativer kinematischer GPS-Positionierung und inertialer Messeinheit bestimmt wird. Für hohe relative und absolute Genauigkeitsansprüche ist allerdings eine Blockausgleichung mit Hilfe von Passpunkten erforderlich (TEMPELMANN et al. 2003).

Bislang wurde kein Vergleich der unterschiedlichen Kameras unter vergleichbaren Bedingungen durchgeführt. Der EuroSDR-Test „Digital Camera Calibration & Validation“ (CRAMER 2007) wurde durch schlecht erkennbare Pass- und Vergleichspunkte beeinträchtigt. Er ermöglicht eine Analyse der Bildgeometrie, lässt aber nur einen eingeschränkten Vergleich der erzielten Genauigkeiten zu.

2 Benutzte Datensätze

Organisiert durch BAE SYSTEMS GP&S, Mt Laurel, NJ, USA, wurde das Testfeld Franklin Mills mit einer DMC, einer UltraCamD, UltraCamX, ADS40 und einer RC30 befliegen (siehe Tab. 1 und 2). Etwa 42 ausreichend klar definierte Pass- und Vergleichspunkte, mit einer Standardabweichung kleiner als 2 cm, sind vorhanden. Mit Ausnahme der ADS40-Bilder weisen alle Bildflüge eine Längs- und Querüberdeckung von 60 % auf (siehe Abb. 4). Die benachbarten ADS40-Bildstreifen überdecken sich um 20 % bis 30 % (siehe Abb. 4).

Zusätzlich zu diesen Testdatensätzen wird teilweise auf die Ergebnisse von anderen Datensätzen zurück ge-griffen: DMC-Block Gent von Hansa Luftbild (7,7 cm Objektpixelgröße, 1105 Bilder), Rubi und Amposta vom ICC Barcelona (9,8/9,0 cm Objektpixelgröße, 426/140 Bilder), „Bergbau“ von

der DSK (9 cm Objektpixelgröße, 2450 Bilder), Istanbul von BIMTAS (8,6 cm Objektpixelgröße, 1608 Bilder) und DMC, UltraCamD und Analogbilder des EuroSDR-Testblocks Frederikstad (JACOBSEN 2007 und 2008a, CRAMER 2007).

Tab. 1: Technische Daten der untersuchten Kameras.

Kamera	c [mm]	Bildgröße x [Pixel]	Bildgröße y [Pixel]	Pixelgröße [µm]
DMC	120,0	7680	13824	12,0
UltraCamD	105,2	7500	11500	9,0
UltraCamX	100,5	9420	14430	7,2
RC30	151,3	18400	18400	12,5
ADS40	62,7	–	12000	6,5

Tab. 2: Bildflüge des Testgebiets Franklin Mills.

Kamera	Bildflug	nominelle Objektpixelgröße
DMC	Juli 2007	54 mm
UltraCamD	Februar 2006	42 mm
UltraCamX	April 2007	37 mm
RC30	Sept. 2007	49 mm
ADS40	Juni 2007	53 × 91 mm ²

Die ADS40 ist auf maximal 800 Bildzeilen je Sekunde beschränkt, womit die Objektpixelgröße in der Flugrichtung festgelegt ist. Die vorhandene Objektpixelgröße von 91 mm entspricht einer Fluggeschwindigkeit von 262 km/h. Die Pixelgröße quer zur Flugrichtung entspricht mit 53 mm einer Flughöhe über Grund von 511 m.

3 Überprüfung der Bildauflösung durch Kantenanalyse

Da die verschiedenen Bildsätze visuell deutlich unterschiedliche Bildschärfen zeigten, wurden diese durch einfache Kantenanalysen quantifiziert, um Nebeneinflüsse auf die geometrischen Auswertungen in Betracht ziehen zu können. Die aus der Pixelgröße und dem Bildmaßstab berechnete Objektpixelgröße ist nur die nominelle Information über erkennbare Objekte. Das Verhältnis

zwischen der nominellen und der effektiven Objektpixelgröße, die die Auflösung berücksichtigt, kann durch Kantenanalyse bestimmt werden (KÖLBL 2005). Ein plötzlicher Wechsel der Objekthelligkeit, wie an einer Schattengrenze, führt im Bild zu einem kontinuierlichen Grauwertübergang. Die Differenzierung des Grauwertprofils im Bild quer zu Kante führt zur Punktverteilungsfunktion (siehe Abb. 1), die einer Gauß-Funktion entsprechen sollte. Die Weite der Punktverteilungsfunktion, also der Abstand zwischen den Wendetangenten (siehe Abb. 1 rechts), ist ein Maß für die Bildqualität. Diese kann durch das optische System, die CCD-Matrix oder den Film, aber auch durch eine pan-Schärfung beeinflusst werden. In dem hannoverschen Programm EDGE werden alle Grauwertprofile quer zu einer Kante, zwischen zwei Punkten auf der Kante, gemittelt und für die Berechnung der effektiven Objektpixelgröße verwendet. Die Aussagekraft der effektiven Objektpixelgröße wurde durch Erstellung von Karten im Rahmen der Diplomarbeit (OSWALD 2007) und entsprechender Untersuchungen überprüft (JACOBSEN 2008a).

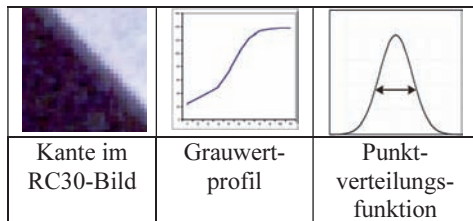


Abb. 1: Kantenanalyse.

Tab. 3: Faktoren für die effektive Objektpixelgröße, Testgebiet Franklin Mills.

Kamera	Bildtyp	Faktor
DMC	panchromatisch	0,92
UltraCamD	pan-geschärft	1,16
UltraCamX	pan-geschärft	1,23
UltraCamX Bildmitte	panchromatisch	1,03
UltraCamX Bildecken	panchromatisch	1,24
RC30	RGB Farbe	1,43
ADS40	pan Vorblick 2°	0,99
ADS40	pan Rückblick 14°	0,95
ADS40	pan Vorblick 27°	1,11

Die Bilder des Testgebiets Franklin Mills wurden durch Kantenanalyse untersucht (siehe Tab. 3). Die mit 12,5 µm Pixelgröße gescannten RC30-Bilder haben dementsprechend eine effektive Objektpixelgröße von $12,5 \mu\text{m} * 1,43 = 18 \mu\text{m}$. Zusätzlich sind die gescannten Fotos durch Filmkorn und einen niedrigeren Kontrast beeinträchtigt. In der Diplomarbeit (OSWALD 2007) und weiteren Untersuchungen (JACOBSEN 2008a) zeigte sich, das im Vergleich zu original digitalen Bildern der Informationsgehalt gescannter Luftbilder zusätzlich linear um den Faktor 1,5 geringer ist. Wird dieser Faktor berücksichtigt, entspricht der Informationsgehalt analoger Bilder einer effektiven Pixelgröße von 27 µm im Bild. Damit hat ein analoges Luftbild einen Informationsgehalt von 8520^2 Pixeln, was weniger als die Anzahl der Pixel einer einzelnen DMC- oder einer UltraCamX-Aufnahme ist und etwa auf dem Niveau der UltraCamD liegt (siehe auch JACOBSEN 2008b).

Der Faktor für die effektive Objektpixelgröße sollte nicht unter 1,0 liegen, kann aber durch eine Kantenverstärkung verkleinert werden. Kantenverstärkungen sind aus den Grauwertprofilen erkennbar. Alle untersuchten Bilder haben vergleichbare Kantenverstärkungen. Die pan-geschärften UltraCam-Bilder weisen allgemein eine geringere Auflösung auf, während es bei den panchromatischen UltraCam-Bildern nur in den Ecken zu einem Schärfeverlust kommt. Dieses entspricht den, dem Kalibrierungszertifikat beigelegten, Modulationsübertragungsfunktionen.

Die ADS40 zeigt geringe Auflösungsverluste der stärker geneigten Aufnahmen, sowie für den blauen Kanal (Faktor 1,27) und den Infrarotkanal (Faktor 1,08). Die Auflösung beeinträchtigt nicht direkt die geometrischen Eigenschaften, sie wirkt sich nur indirekt bei der Einstellung nicht klar abgebildeter Passpunkte aus.

4 Selbstkalibrierung

Systematische Bildfehler, oder genauer, die Differenz zwischen dem mathematischen Modell der Perspektive und der tatsächli-

Tab. 4: Allgemeine zusätzliche Parameter des Programmsystems BLUH.

x, y = Bildkoordinaten normiert auf einen maximalen Hauptpunktabstand von 162.6 mm (Maßstabsfaktor = 162.6/maximalen Hauptpunktabstand) $r^2 = x^2 + y^2$ $b = \arctan (y/x)$		
1. $x' = x - y \cdot P1$	$y' = y - x \cdot P1$	Scherung
2. $x' = x - x \cdot P2$	$y' = y + y \cdot P2$	Affinität
3. $x' = x - x \cdot \cos 2b \cdot P3$	$y' = y - y \cdot \cos 2b \cdot P3$	
4. $x' = x - x \cdot \sin 2b \cdot P4$	$y' = y - y \cdot \sin 2b \cdot P4$	
5. $x' = x - x \cdot \cos b \cdot P5$	$y' = y - y \cdot \cos b \cdot P5$	
6. $x' = x - x \cdot \sin b \cdot P6$	$y' = y - y \cdot \sin b \cdot P6$	
7. $x' = x + y \cdot r \cdot \cos b \cdot P7$	$y' = y - x \cdot r \cdot \cos b \cdot P7$	tangentiale Verzeichnung 1
8. $x' = x + y \cdot r \cdot \sin b \cdot P8$	$y' = y - x \cdot r \cdot \sin b \cdot P8$	tangentiale Verzeichnung 2
9. $x' = x - x \cdot (r^2 - 16384) \cdot P9$	$y' = y - y \cdot (r^2 - 16384) \cdot P9$	radialsymmetrisch r^3
10. $x' = x - x \cdot \sin (r \cdot 0.049087) \cdot P10$	$y' = y - y \cdot \sin (r \cdot 0.049087) \cdot P10$	radialsymmetrisch
11. $x' = x - x \cdot \sin (r \cdot 0.098174) \cdot P11$	$y' = y - y \cdot \sin (r \cdot 0.098174) \cdot P11$	radialsymmetrisch
12. $x' = x - x \cdot \sin 4b \cdot P12$	$y' = y - y \cdot \sin 4b \cdot P12$	

chen Bildgeometrie, können durch Blockausgleichungen mit Selbstkalibrierung durch zusätzliche Parameter bestimmt werden. Unterschiedlichste Sätze zusätzlicher Parameter werden verwendet und führen bei analogen Bildern zu zufrieden stellenden Ergebnissen. Die zusätzlichen Parameter können reine mathematische Ansätze sein oder auch physikalisch begründet sein. EBNER (1976) entwickelte einen Satz zusätzlicher Parameter, die in der Lage sind, die systematischen Bildfehler in den 9 Gruberpunkten zu beseitigen. Dieser rein mathematische Ansatz wurde von GRÜN (1979) auf einen Satz von 44 Parametern erweitert, der die systematischen Bildfehler in einem Raster von 5×5 Bildpunkten beseitigt. JACOBSEN (1980) entwickelte einen physikalisch begründeten Ansatz, der um wenige mathematisch gerechtfertigte Parameter ergänzt wurde (JACOBSEN 2007, siehe Tab. 4).

Panchromatische DMC- und UltraCam-Aufnahmen basieren auf der Kombination von 4 bzw. 9 CCD-Matrizen von 4 Teilkameras. Die Zusammenfügung der Teilbilder berücksichtigt die Kalibrierung der Teilkameras, so dass theoretisch keine systematischen Bildfehler auftreten sollten. In der Praxis ist das aber nicht der Fall. Bildfehler werden primär durch Temperatureinflüsse hervorgerufen – die CCD-Matrizen sind auf Keramikkörpern fixiert, die einen anderen Ausdehnungskoeffizienten als die Kamera-

körper haben. Außerdem ist ein vertikaler Temperaturgradient in der Optik nicht vermeidbar.

Im Fall einer Blockausgleichung ohne Selbstkalibrierung beeinflussen die systematischen Bildfehler die Residuen der Bildkoordinaten. Alle Bildkoordinatenresiduen eines Blockes können im Bildraum überlagert und in Teilflächen gemittelt werden. Durch die Mittelbildung werden die zufälligen Fehler reduziert, während die systematischen Fehler unverändert bleiben. Die überlagerten und gemittelten Bildkoordinatenresiduen geben einen guten Überblick über die Geometrie der systematischen Bildfehler, nicht jedoch über deren Größe. Da ein Teil der systematischen Bildfehler durch Orientierungsunbekannte kompensiert wird, fallen die überlagerten und gemittelten Bildkoordinatenresiduen allgemein kleiner aus als die durch Selbstkalibrierung berechneten systematischen Bildfehler. Sie zeigen allerdings sehr gut die geometrische Form der systematischen Bildfehler an und weisen bei Blockausgleichungen mit Selbstkalibrierung auf noch nicht erfasste systematische Fehler hin. Bei kleinen Blöcken kann ihre Aussagekraft allerdings eingeschränkt sein.

Die in Abb. 2 gezeigten überlagerten und gemittelten Bildkoordinatenresiduen deuten auf die genannten Ursachen der systematischen Bildfehler hin. Diese systematischen Bildfehler können nicht mit den Standard-

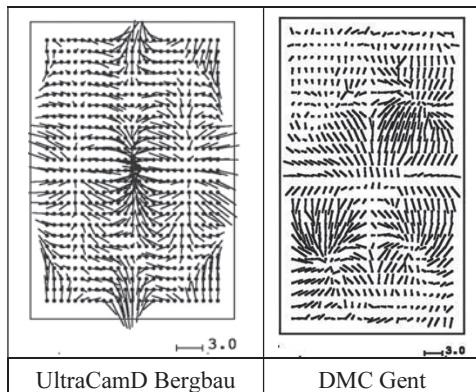


Abb. 2: überlagerte und gemittelte Bildkoordinatenresiduen.

sätzen der zusätzlichen Parameter optimal erfasst werden, weswegen das hannoversche Programm zur Bündelblockausgleichung BLUH um spezielle zusätzliche Parameter für die DMC und die UltraCam erweitert wurde¹. Mit den Parametern 30–33 können Synchronisationsfehler der DMC erfasst werden, mit 34–41 lassen sich perspektive Abbildungsfehler der Teilkameras berücksichtigen und mit 74–77 radialsymmetrische Verzerrungen der Teilkameras. Da sich zeigte, dass sich die Teilkameras sehr ähnlich verhalten, können mit dem Parameter 79 gleiche Veränderungen der Kammerkonstante aller 4 Teilkameras erfasst werden und mit 80 gleiche radialsymmetrische Verzerrungen der 4 Teilkameras (siehe Abb. 3).

Für die UltraCam bestimmen die zusätzlichen Parameter 42 bis 73 Verschiebungen in x und y, Maßstabsänderungen und Drehungen der 8 Teilmatrixen gegenüber der zentralen Matrix. In jedem Fall wird berücksichtigt, dass benachbarte Bildteilflächen durch Verknüpfungspunkte bei der Bildvereinigung miteinander verbunden sind. Die UltraCamD und die UltraCamX haben sehr ähnliche Bild- und Teilbildformate, weswegen für beide Kameras der glei-

¹ Die Formeln für die im Folgenden genannten zusätzlichen Parametern des Programmsystems BLUH sind aus Platzgründen unter www.ipi.uni-hannover.de (Service/BLUH) aufgeführt.

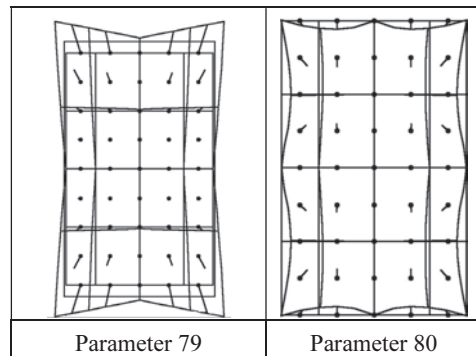


Abb. 3: gemeinsame zusätzliche Parameter für die DMC.

che Ansatz zusätzlicher Parameter verwendet werden kann. Wegen unterschiedlicher Drehungen der UltraCam-Bilder wird von BLUH automatisch überprüft, ob die x' - oder die y' -Formatseite größer als die andere ist, um die zusätzlichen Parameter richtig anzusetzen. Zusätzlich zu den kameraspezifischen Parametern sind die Standardparameter 1 bis 12 des Programms BLUH zu verwenden. BLUH überprüft die zusätzlichen Parameter auf Bestimmbarkeit und Erfordernis durch eine Kombination eines Student-Tests mit der Korrelation und der inneren Bestimmtheit der zusätzlichen Parameter (JACOBSEN 1980). Nicht erforderliche Parameter werden automatisch aus der Berechnung entfernt, um Überparameterisierungen zu verhindern, so dass die folgend angegebenen zusätzlichen Parameter nur die Startparameter darstellen, die letzte Iteration aber in der Regel mit einer kleineren Anzahl berechnet wurde.

5 Blockausgleichungen

Die erforderlichen Verknüpfungspunkte wurden mit LPS und im Fall der ADS40 mit ORIMA bestimmt. Die manuelle Messung der Pass- und Verknüpfungspunkte war sehr zeitaufwendig, da alle Punktdefinitionen mittels in der Örtlichkeit aufgenommener Fotos überprüft wurden. Die Pass- und Vergleichspunkte der DMC- und der UltraCam-Aufnahmen wurden im Durch-

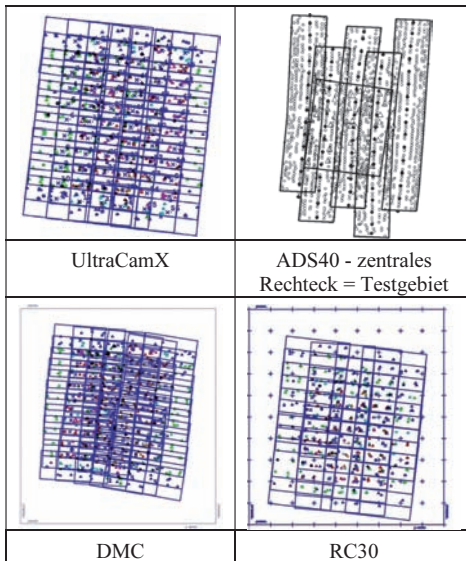


Abb. 4: Blockkonfigurationen Franklin Mills.

schnitt in 5,4 bis 6,4 Bildern gemessen, im Falle der RC30 in 9,1 Bildern und bei der ADS40 in 5,0 Bildstreifen, wobei durch die drei panchromatischen Bildzeilen drei Bildstreifen erzeugt werden. Abb.4 zeigt die Blockkonfiguration der UltraCamX, der ADS40, der DMC und der RC30. Die Konfiguration der UltraCamD-Aufnahmen entspricht der der UltraCamX.

Es wurden Blockausgleichungen mit 8, 15 und allen Passpunkten berechnet. Die Ergebnisse mit 15 Passpunkten unterscheiden sich nicht wesentlich von den Ausgleichungen mit 8 Passpunkten, weswegen nur letztere gezeigt werden. Im Fall von 8 und 15 Passpunkten wurden die verbliebenen als unabhängige Vergleichspunkte verwendet. Es wurden nicht immer die gleichen Passpunkte verwendet, da einzelne Punkte durch parkende Fahrzeuge verdeckt waren.

Mit Ausnahme der ADS40-Daten erfolgten die Blockausgleichungen ohne Unterstützung der nur teilweise vorhandenen GPS-Koordinaten der Projektionszentren und inertialer Daten, um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten und um die Auswirkung nicht erfasster systematischer Bildfehler klarer zu zeigen.

5.1 DMC

Bei der DMC wirken sich die zusätzlichen Parameter nur geringfügig auf die Ergebnisse der Blockausgleichung aus (siehe Tab. 5). Die besten Ergebnisse wurden mit den Standardparametern 1–12 zusammen mit den gemeinsamen DMC-spezifischen Parametern 79 und 80 erzielt. Ausgleichungen mit den 16 individuellen DMC-spezifischen Parametern führten in der Regel zu geringfügig schlechteren Resultaten. Der Hauptgrund für die nur geringfügige Verbesserung durch die Selbstkalibrierung ist in der beschränkten Blockgröße zu sehen. Dieses war bei dem Hansa Luftbild-Block Gent mit 1105 DMC-Bildern anders. Hier wurde die Höhen Genauigkeit von 19,1 cm ohne Selbstkalibrierung auf 5,7 cm mit Selbstkalibrierung verbessert (Wu 2007). Die Selbstkalibrierung verhindert die Blockdeformation in der Höhe. Durch kombinierte Blockausgleichung mit relativ kinematischen GPS-Positionen der Projektionszentren verringert sich die Verbesserung durch die Selbstkalibrierung.

Tab. 5: Quadratmittel der Widersprüche an 32 unabhängigen Vergleichspunkten – Blockausgleichung der DMC-Bilder mit 8 Passpunkten, 54 mm Objektpixelgröße.

DMC	SX	SY	SZ	σ_0
ohne Selbstkalibrierung	2,5 cm	1,8 cm	3,4 cm	3,51 μm
Parameter 1–12	2,4 cm	1,7 cm	3,4 cm	3,49 μm
Parameter 1–12, 79–80	2,4 cm	1,7 cm	3,0 cm	3,48 μm
Parameter 1–12, 30–41, 74–77	2,5 cm	1,8 cm	3,4 cm	3,48 μm

5.2 UltraCamD

Die Blockausgleichung der UltraCamD-Bilder (siehe Tab. 6) zeigt eine deutliche Genauigkeitssteigerung durch die Selbstkalibrierung. Die Lagegenauigkeit wird durch die Selbstkalibrierung im Quadratmittel von 3,7 cm auf 2,9 cm verbessert. Allerdings ergibt die Ausgleichung mit den UltraCam-spezifischen Parametern 42–73 nur eine ge-

Tab. 6: Quadratmittel der Widersprüche an 33 unabhängigen Vergleichspunkten – Blockausgleichung der UltraCamD-Bilder mit 8 Passpunkten, 42 mm Objektpixelgröße.

UltraCamD	SX	SY	SZ	σ_0
ohne Selbstkalibrierung	4,3 cm	3,0 cm	8,3 cm	4,32 μm
Parameter 1–12	3,2 cm	2,6 cm	7,9 cm	4,27 μm
Parameter 1–12, 42–73	3,8 cm	2,5 cm	8,0 cm	4,18 μm

ringförmige Verbesserung der Standardabweichung der Gewichtseinheit σ_0 und der Y-Komponente, wogegen sich die X- und die Z-Komponente gegenüber dem Standardsatz der zusätzlichen Parameter verschlechtern. Bei diesem Datensatz sind somit die kameraspezifischen zusätzlichen Parameter nicht gerechtfertigt. Die Verbesserung durch die Selbstkalibrierung mit den Parametern 1–12 kann durch die systematischen Bildfehler erklärt werden, die deutlich größer als bei der DMC sind (siehe Abb. 5), sie werden bereits durch die Standardparameter ausreichend erfasst.

Die UltraCamD-Bilder wurden mit der alten Software von Vexcel Imaging zusammengefügt, diese wurde von Vexcel Imaging überarbeitet, womit geometrische Probleme von UltraCam-Bildern besser berücksichtigt wurden. In Zusammenarbeit mit der Deutschen Steinkohle wurden UltraCamD-Bilder eines Bergbaublockes basierend auf

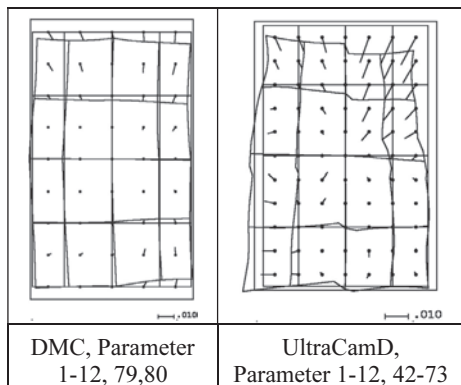


Abb. 5: Systematische Bildfehler Franklin Mills.

den alten Teilbildern mit der neuen Software erneut zusammengefügt. Damit verringerte sich die Größe der systematischen Bildfehler deutlich und auch die Ergebnisse der Blockausgleichung verbesserten sich (SPRECKELS et al. 2007 und 2008).

5.3 UltraCamX

Auch die Blockausgleichung der UltraCamX-Daten zeigt eine entsprechende Verbesserung durch die Selbstkalibrierung (siehe Tab. 7 und 8). Zuerst standen nur panchromatische UltraCamX-Bilder zur Verfügung, später erstellte Vexcel Imaging die virtuellen UltraCamX-Bilder durch Zusammenfügen der Teilbilder erneut und stellte auch die panchromatischen Bilder zur Verfügung. Die UltraCamX-Bilder wurden allerdings in beiden Fällen mit der neuen Software aus den Teilbildern zusammengefügt.

Tab. 7: Quadratmittel der Widersprüche an 34 unabhängigen Vergleichspunkten – Blockausgleichung der panchromatischen UltraCamX-Bilder mit 8 Passpunkten, 37 mm Objektpixelgröße.

UltraCamX panchromatisch	SX	SY	SZ	σ_0
Ohne Selbstkalibrierung	4,3 cm	3,0 cm	8,3 cm	3,06 μm
Parameter 1–12	2,0 cm	1,6 cm	3,8 cm	2,98 μm
Parameter 1–12, 42–73	2,8 cm	1,7 cm	4,2 cm	2,99 μm

Tab. 8: Quadratmittel der Widersprüche an 34 unabhängigen Vergleichspunkten – Blockausgleichung der panchromatischen UltraCamX-Bilder mit 8 Passpunkten, 37 mm Objektpixelgröße.

UltraCamX panchromatisch	SX	SY	SZ	σ_0
Ohne Selbstkalibrierung	2,8 cm	1,9 cm	8,7 cm	2,98 μm
Parameter 1–12	1,5 cm	1,4 cm	4,7 cm	2,94 μm
Parameter 1–12, 42–73	1,6 cm	1,4 cm	5,3 cm	2,88 μm

Vexcel Imaging führte anschließend zusätzlich eine automatische Aerotriangulation mit INPHO Match AT durch. Mit diesen Daten erreichte eine Blockausgleichung durch BLUH eine Standardabweichung der Gewichtseinheit σ_0 von $1,0 \mu\text{m}$ statt $3,0 \mu\text{m}$ mit durch LPS bestimmten Verknüpfungspunkten. Wegen der hohen Anzahl von Verknüpfungspunkten machte sich das allerdings nicht bei der Genauigkeit unabhängiger Vergleichspunkte bemerkbar. Eine unabhängige Aerotriangulation mit der Software LPS von Leica und die Messung der Pass- und Verknüpfungspunkte durch eine erfahrene Auswerterin der Leibniz Universität Hannover führte trotz des σ_0 von etwa $3 \mu\text{m}$ zu besseren Ergebnissen an unabhängigen Vergleichspunkten, erklärbar durch eine sehr sorgfältige manuelle Messung der Bildposition von Pass- und Vergleichspunkten.

Mit den neu berechneten, panchromatischen Bildern, verbesserte sich die Lagegenauigkeit an unabhängigen Vergleichspunkten, wogegen sich die Höhengenaugigkeit etwas verschlechterte. Die Steigerung der Lagegenauigkeit ist zumindest teilweise auf die bessere Bildqualität der panchromatischen Bilder zurückzuführen, die die manuelle Messung der Pass- und Verknüpfungspunkte verbesserte. Die Höhengenaugigkeit wird durch nicht erfasste zufällige und systematische x-Komponenten der Bildfehler bestimmt. Eine Standardabweichung der Höhengenaugigkeit von $4,7 \text{ cm}$ würde einer

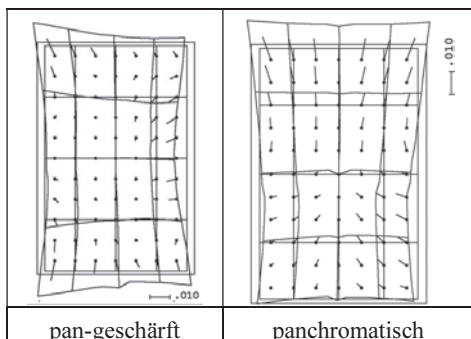


Abb. 6: Systematische Bildfehler der Ultra-CamX, basierend auf den zusätzlichen Parametern 1–12, 42–73, Testgebiet Franklin Mills.

Standardabweichung der x-Parallaxe von $0,27$ Pixeln entsprechen, wenn die Vergleichspunkte nur in zwei Bildern gemessen wären. Die geringfügige Verschlechterung der Höhengenaugigkeit kann somit durch Sub-Pixel-Einflüsse der Teilbildzusammenfügung hervorgerufen worden sein. Die systematischen Bildfehler veränderten sich durch die erneute Zusammenfügung der Teilbilder nicht ihre Größenordnung, wohl aber in ihrer Geometrie (siehe Abb. 6).

5.4 ADS40

Die Bilder der Zeilenkamera Leica ADS40 wurden wegen der vollständig anderen Geometrie mit ORIMA ausgewertet. Es wurden in dem Testgebiet Franklin Mills die gleichen Pass- und Vergleichspunkte wie bei den Flächenkameras verwendet, wobei, wie auch bei den anderen Befliegungen, einzelne Passpunkte wegen Verdeckung durch Fahrzeuge ausfielen. Die Art der Bilderfassung führt zu rechteckigen Objektpixeln von $53 \text{ mm} \times 91 \text{ mm}$ und zu Bildstreifen (siehe Abb. 4).

Die Selbstkalibrierung wurde auf die 2 Affinparameter beschränkt, sie wirkt sich aber kaum auf die Objektkoordinaten aus. Um systematische Objektkoordinatenfehler zu vermeiden, musste der Block durch hohe Gewichte stark an die Passpunkte angebunden werden, damit eine Objektkoordinatengenauigkeit der unabhängigen Vergleichspunkte von 2 cm bis 3 cm erreicht werden konnte (siehe Tab. 9). Bei normaler Gewichtung der Passpunkte dominierte der Einfluss der direkten Sensororientierung und es kam zu systematischen Höhenfehlern, die sich bereits an den Passpunkten zeigten. Die

Tab. 9: Quadratmittel der Widersprüche an 34 unabhängigen Vergleichspunkten – Blockausgleichung der ADS40-Bilder, $53 \text{ mm} \times 91 \text{ mm}$ Objektpixelgröße.

Passpunkte	SX	SY	SZ
1	5,2 cm	2,7 cm	4,5 cm
4	2,3 cm	2,5 cm	3,1 cm
8	2,1 cm	2,4 cm	3,1 cm
15	2,0 cm	2,2 cm	2,7 cm

Standardabweichung der Gewichtseinheit änderte sich durch unterschiedliche Gewichtung und eine unterschiedliche Anzahl von Passpunkten kaum und lag zwischen 4,9 μm und 5,0 μm .

Mit Ausnahme der Ausgleichung mit nur einem Passpunkt ist die Genauigkeit der Blockausgleichung mit ADS40-Bildern nicht stark von der Anzahl der Passpunkte abhängig. Ein direkter Vergleich mit den Ergebnissen der Flächenkameras ist jedoch schwierig, da diese nicht durch GPS und inertielle Daten unterstützt wurden und somit eine Blockdeformation nicht auszuschließen ist.

5.5 RC30

Die Ausgleichung der analogen RC30-Weitwinkelaufnahmen mit dem Bildmaßstab 1:3930, lag mit einer Standardabweichung der Gewichtseinheit von etwa 6 μm im üblichen Rahmen. Die systematischen Bildfehler sind mit maximal 6 μm recht klein (siehe

Tab. 10: Quadratmittel der Widersprüche an 34 unabhängigen Vergleichspunkten – Blockausgleichung der RC30-Bilder mit 8 Passpunkten, 49 mm Objektpixelgröße.

RC30	SX	SY	SZ	σ_0
Ohne Selbstkalibrierung Parameter 1–12	2,4 cm	3,6 cm	4,1 cm	6,02 μm
	2,6 cm	3,7 cm <td 4,5 cm	5,94 μm	

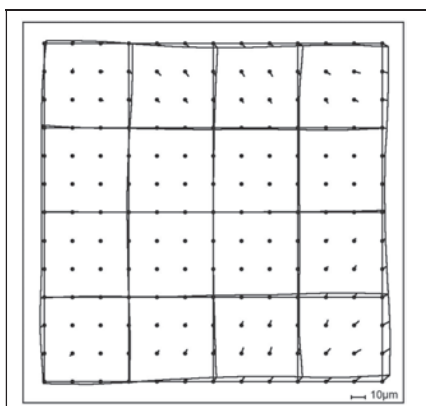


Abb. 7: Systematische Bildfehler der RC30-Aufnahmen.

Abb. 7 und Tab. 10), dementsprechend ergab sich auch keine Verbesserung der Ausgleichung durch Selbstkalibrierung mit dem Standardsatz der zusätzlichen Parameter. Ein Block von nur 35 Luftbildern, mit 60% Längs- und Querüberdeckung, gestützt durch 8 Passpunkte, ist auch so stabil, dass dieses nicht zu erwarten war. Die Relation zwischen der Lage- und der Höhengengenauigkeit ist nicht weit von dem Höhen-Basis-Verhältnis von 1,6 entfernt.

5.6 Diskussion

Ein Vergleich der verschiedenen Ergebnisse sollte in Relation zur Objektpixelgröße erfolgen, da die Objektpixelgröße zwischen 37 mm und 72 mm (Mittelwert für die ADS40) variiert (siehe Abb. 8). Andererseits muss berücksichtigt werden, dass für die Pass- und Vergleichspunkte eine Standardabweichung von nicht schlechter als 2 cm angegeben sind. Eine Differenzierung der Ergebnisse unter einer Genauigkeit von 2 cm ist somit nicht möglich. Umgekehrt ist das sehr gute Ergebnis der ADS40 in Relation zur Objektpixelgröße mit der mittleren Objektpixelgröße von 72 mm leichter erzielbar, weswegen auch die absoluten Ergebnisse verglichen werden sollten (siehe Abb. 9).

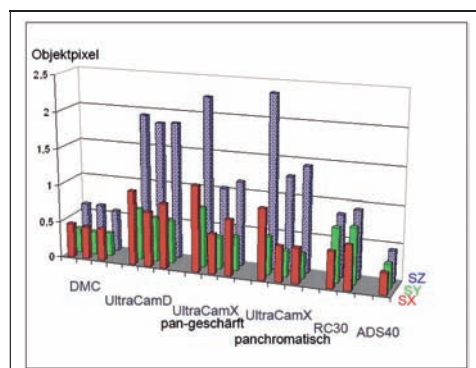


Abb. 8: Vergleich der an unabhängigen Vergleichspunkten erzielten Genauigkeiten von Blockausgleichungen mit 8 Passpunkten [Objektpixelgröße]. Innerhalb der Gruppen: von links – ohne Selbstkalibrierung/Selbstkalibrierung mit dem Standardsatz zusätzlicher Parameter/Selbstkalibrierung mit den Standard- und den kameraspezifischen Parametern.

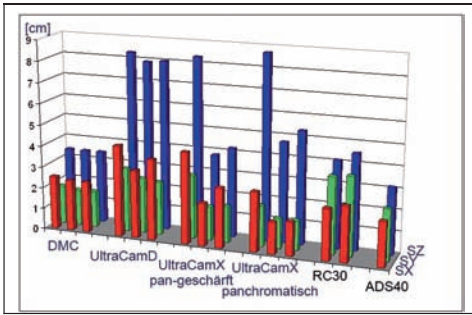


Abb. 9: Vergleich der an unabhängigen Vergleichspunkten erzielten Genauigkeiten von Blockausgleichungen mit 8 Passpunkten [cm], gleiche Anordnung wie in Abb. 8.

Die Bildblöcke des Testgebiets Franklin Mills sind nicht ausreichend groß, um die Vorteile der Selbstkalibrierung deutlich zu machen. Nur bei den UltraCam-Daten ergibt sich bereits eine deutliche Verbesserung durch die zusätzlichen Parameter. Bei größeren Blöcken, die nicht durch GPS-Koordinaten der Projektionszentren und/oder inertielle Daten unterstützt werden, zeigt sich eine erhebliche Verbesserung vor allem der Objekthöhen durch die Selbstkalibrierung (JACOBSEN 2007). Hier führen die kameraspezifischen zusätzlichen Parameter für die UltraCamD und die DMC zu einer Genauigkeitssteigerung unabhängiger Vergleichspunkte gegenüber dem Standardsatz der zusätzlichen Parameter, wobei sich zeigte, dass für die DMC die kameraspezifischen Parameter 79 und 80 ausreichend sind (JACOBSEN 2007). Der Standardsatz der von BLUH benutzten zusätzlichen Parameter reicht dagegen bei kleineren Blöcken, wie Franklin Mills, aus. Eine Ausgleichung des DMC-Blocks Gent (WU 2007) zeigte allerdings, dass zwar die 12 Parameter von BLUH zu guten Ergebnissen führen, nicht jedoch der Ebner-Ansatz (EBNER 1976). Hier waren die 44 Parameter des Grün-Ansatzes (GRÜN 1979) erforderlich, der allerdings auch einen Trend zur Überparameterisierung in sich birgt. ALAMUS et al. 2007 benutzte aus diesem Grund für die Berechnung von DMC-Blöcken separate zusätzliche Parameter für die vier Bildviertel.

6 Modelldeformation

Die systematischen Bildfehler werden in der Blockausgleichung berücksichtigt und bereiten dort kein Problem. Anders ist es bei der anschließenden Auswertung photogrammetrischer Modelle. Die systematischen Bildfehler wirken sich in der Regel nicht erheblich auf die Lagekomponenten aus, anders ist es mit der Höhe – die korrespondierenden Modelldeformationen können die Standardabweichung der Höhenermittlung überschreiten, müssen somit zumindest analysiert werden.

Abb. 10 zeigt die Modelldeformationen der in Franklin Mills eingesetzten digitalen Kameras. Unter der Voraussetzung einer operationellen Genauigkeit der x-Parallaxe von 0,5 Pixeln sollte mit der DMC eine Höhengenaugkeit von 8,6 cm, mit der Ultra-

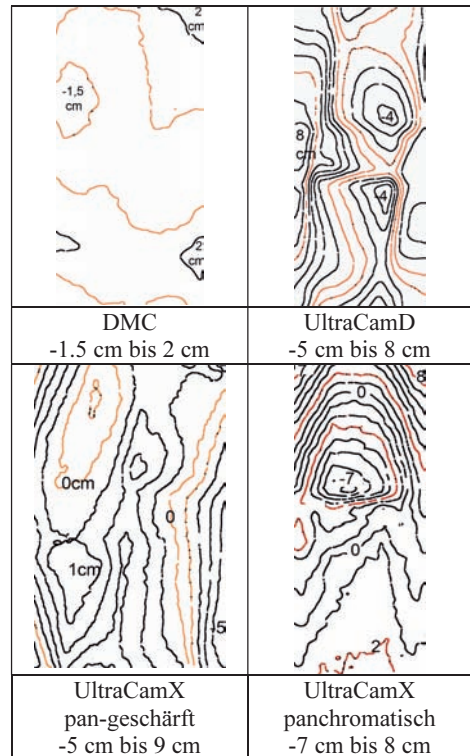


Abb. 10: Durch systematische Bildfehler hervorgerufene Höhenmodelldeformation des Testgebiets Franklin Mills, basierend auf den Standard- und kameraspezifischen Parametern, Äquidistanz 1 cm.

CamD 7,8 cm, mit der UltraCamX 6,8 cm und mit der RC30 4 cm erreicht werden. Dieses berücksichtigt die unterschiedliche Objektpixelgröße und das Höhen-Basis-Verhältnis für 60% Längsüberdeckung von 3,1 für die DMC, 3,7 für die UltraCam und 1,6 für die Weitwinkel-RC30. Diese abgeschätzte Höhengenaugigkeit ist geringer als die durch Blockausgleichung erreichbare. Bei der Blockausgleichung werden klar definierte Punkte bestimmt und die Punkte sind in mehr als 2 Bildern vorhanden.

Die Modelldeformationen der DMC und der RC30 sind kleiner als die abgeschätzten Höhengenaugigkeiten, während sie bei den UltraCam größer sind. Diese Modelldeformationen wirken sich nicht aus, wenn die Auswertesoftware in der Lage ist, die systematischen Bildfehler zu berücksichtigen. Eine andere, allerdings zeitaufwendigere Methode ist die Änderung der Bildgeometrie um die systematischen Bildfehler, wie es im hannoverschen Programm IMGEO realisiert ist oder eine a posteriori Korrektur der Höhen wie durch das hannoversche Programm DEMCOR.

Bei Modellauswertungen mit ADS40-Bildern treten wegen der Zeilensensorgeome-

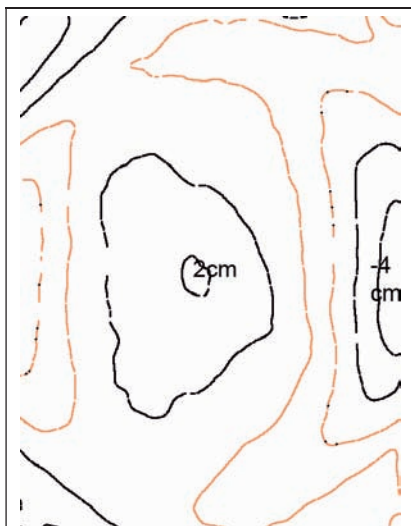


Abb. 11: Durch systematische Bildfehler hervorgerufene Höhenmodelldeformation eines RC30-Modells mit 60% Längsüberdeckung, Deformationen von -4 cm bis 3 cm.

trie prinzipiell andere Modelldeformationen als bei den Flächensensoren auf. In der Ausgleichung mit der Bündel-Ausgleichungssoftware ORIMA wurden nur 2 Affinparameter für die Selbstkalibrierung eingesetzt. Sie erzeugen keine Modelldeformation.

7 Zusammenfassung

Das hohe Genauigkeitsniveau der digitalen Kameras wurde bestätigt. Mit ähnlicher Objektpixelgröße wurden mit DMC-, UltraCamX- und ADS40-Aufnahmen bessere Lagegenauigkeiten als mit der analogen Weitwinkel-RC30 erreicht, mit DMC- und ADS40-Bildern auch eine bessere Höhengenaugigkeit.

Mit nur zwei kameraspezifischen zusätzlichen Parametern können die Auswertungen der DMC-Aufnahmen verbessert werden, eine höhere Anzahl individueller DMC-spezifischer Parameter bringt keine Steigerung der Genauigkeit. Die mit der alten Software von Vexcel Imaging zur Vereinigung der Teilbilder erstellten UltraCamD-Aufnahmen haben geometrische Schwächen, die mit der neuen Software vermieden werden können. Mit den 32 UltraCam-spezifischen zusätzlichen Parametern konnte in den kleinen Testblöcken keine Verbesserung der Ergebnisse gegenüber einer Ausgleichung mit dem Standardsatz der zusätzlichen Parameter erzielt werden, dieses war anders in einem großen Block mit mehr als 2000 Aufnahmen. Die UltraCamX-Aufnahmen wurden mit der neuen Software zweifach erstellt. Mit den erneut erstellten Aufnahmen konnten bessere Lage-, aber keine besseren Höhengenergebnisse erzielt werden.

Mit der Zeilenscannerkamera ADS40 ließen sich, basierend auf 4 Passpunkten, mit 2 cm bis 3 cm Genauigkeit Subpixelgenauigkeiten erreichen wenn der Block stark an die Passpunkte gebunden wird.

Die photogrammetrischen Modellauswertungen sollten die systematischen Bildfehler berücksichtigen, um nicht unnötig das Genauigkeitspotenzial zu verschlechtern. Alternativ kann die Bildgeometrie um die systematischen Bildfehler verbessert oder

Höhenmodelle a posteriori korrigiert werden.

Die Bildqualität wurde mittels Kantenganalyse untersucht. Es zeigte sich, dass die mit 12,5 µm Pixelgröße gescannten Analogbilder nur einen Informationsgehalt haben, der einer Pixelgröße von 18 µm entspricht, oder in Relation zu erkennbaren Objektdetails nur 27 µm, damit entspricht der Informationsgehalt einer RC30-Aufnahme dem einer UltraCamD-Aufnahme. Panchromatische UltraCam-Bilder weisen einen allgemeinen Verlust an Bildqualität auf, während panchromatische UltraCam-Bilder nur in den Bildecken eine etwas geringere Bildqualität haben.

Danksagung

Ich danke Dr. Ricardo Passini von BAE SYSTEMS, Network Systems (GP&S), Mt. Laurel, New Jersey, USA, für die Unterstützung der Untersuchungen und die Bereitstellung der Daten.

Literatur

- ALAMUS, R., KORNUS, W. & RIESINGER, I., 2007: DMC Geometric Performance Analysis. – International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 36/1W51, on CD and www.ipi.uni-hannover.de (Mai 2008).
- CRAMER, M., 2007: The EuroSDR Performance Test for Digital Aerial Camera Systems. – Photogrammetric Week '07, Wichmann Verlag, Heidelberg, 89–104.
- EBNER, H., 1976: Self-calibrating block adjustment. – International Archives of Photogrammetry **21** (B3).
- GRÜN, A., 1979: Self-Calibration versus Testfield Calibration. – Proceedings, ISP WG III/3 Workshop, Aalborg, 53–73.
- JACOBSEN, K., 1980: Attempt at Obtaining the Best Possible Accuracy in Bundle Block Adjustment. – International Archives of Photogrammetry **23** (B3): 304–313.
- JACOBSEN, K., 2007: Geometric Handling of Large Size Digital Airborne Frame Camera Images. – Optical 3D Measurement Techniques VIII, Zürich 2007, 164–171.
- JACOBSEN, K., 2008a: Comparison of Large Size Digital Airborne Frame Cameras with Analogue Film Cameras. – Geoinformation in Europe, Proceedings, EARSeL Symposium, Millpress, Rotterdam, 89–95.
- JACOBSEN, K., 2008b: Tells the number of pixels the truth? – Effective Resolution of Large Size Digital Frame Cameras. – Proceedings, ASPRS 2008 Annual Conference, Portland, American Society of Photogrammetry and Remote Sensing, 7 Seiten auf CD.
- KÖLBL, O., 2005: Transfer Functions in Image Data Collection. – Photogrammetric Week '05, Wichmann Verlag, Heidelberg, 93–104.
- OSWALD, H. C., 2007: Potential digitaler photogrammetrischer Luftbildkameras. – Diplomarbeit am Institut für Photogrammetrie und Geoinformation, Leibniz Universität Hannover, www.ipi.uni-hannover.de/fileadmin/institut/pdf/Diplomarbeit_Oswald.pdf (Mai 2008).
- SPRECKELS, V., SCHLIENKAMP, A. & JACOBSEN, K., 2007: Model Deformation – Accuracy of Digital Frame Cameras. – International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences 36/1W51, on CD and www.ipi.uni-hannover.de (Mai 2008).
- SPRECKELS, V., SCHLIENKAMP, A. & JACOBSEN, K., 2008: Geometric Characteristic of Digital Frame Cameras. – EARSeL Workshop Remote Sensing – New Challenges of High Resolution, Bochum, and www.ipi.uni-hannover.de (Mai 2008).
- TEMPELMANN, U., HINSKEN, L. & RECKE, U., 2003: ADS40 Calibration Verification Process. – Proceedings ISPRS WG I/5 “Theory, Technology and Realities of Inertial/GPS Sensor Orientation”, Castelldefels.
- WU, D. (2007): Geometric aspects of large size digital frame cameras and their use for photogrammetric data acquisition. – Diplomarbeit am Institut für Photogrammetrie und Geoinformation, Leibniz Universität Hannover, www.ipi.uni-hannover.de/fileadmin/institut/pdf/Wu_Diplomarbeit.pdf (Mai 2008).

Anschrift des Autors:

Dr.-Ing. KARSTEN JACOBSEN, Leibniz Universität Hannover, Institut für Photogrammetrie und GeoInformation (IPI), D-30167 Hannover, Nienburger Str. 1, Tel.: +49-511-762-2485, Fax: +49-511-762-2483, e-mail: jacobsen@ipi.uni-hannover.de

Manuskript eingereicht: April 2008
Angenommen: Juni 2008

Analysis of Full-Waveform Lidar Data for Classification of Urban Areas

CLÉMENT MALLET, FRÉDÉRIC BRETAR, Saint-Mandé/Frankreich & UWE SOERTEL, Hannover

Keywords: Lidar, signal processing, waveform analysis, modelling, classification, urban

Summary: In contrast to conventional airborne multi-echo laser scanner systems, full-waveform lidar systems are able to record the signal of each emitted and backscattered signal of each laser pulse. Instead of clouds of individual 3D points, lidar devices provide connected 1D profiles of the 3D scene, which contain more detailed and additional information about the structure of the illuminated surfaces. This paper is focused on the analysis of full-waveform data in urban areas. First, a brief overview of the workflow of the proposed classification model is given. Then the problem of modelling full-waveform lidar signals is tackled. The standard method assumes the waveform to be the superposition of signal contributions of each scattering object in such a laser beam, which are approximated by Gaussian distributions. This model is suitable in many cases, especially in vegetated terrain. However, since it is not tailored to urban waveforms, here the generalized Gaussian model is selected instead. Then, a pattern recognition method for urban area classification is proposed. A supervised method using Support Vector Machines is performed on the full-waveform lidar point cloud based on the parameters extracted from the post-processing step. Results show that it is possible to partition urban areas in building, vegetation, natural ground and artificial ground regions with high accuracy using only lidar waveforms.

Zusammenfassung: Analyse des zeitlichen Signalverlaufs von Laserpulsen zur Klassifikation städtischer Gebiete. Daten konventioneller luftgestützter Laserscannersysteme beschränken sich meist auf die Koordinaten der 3D-Punkte, gegebenenfalls erweitert durch weitere Merkmale, wie etwa Breite und Intensität der Echos. Eine neue Generation von Sensoren erfasst durch Abtastung den zeitlichen Verlauf der Sendepulse sowie des empfangenen Signals. Im Gegensatz zu den bislang verfügbaren diskreten Punktwolken entspricht die mit diesen sogenannten Full-Waveform-Sensoren gewonnene Signalform somit zusammenhängenden 1D-Profilen der 3D-Szene, anhand derer weitergehende Rückschlüsse auf die Struktur der beleuchteten Oberflächen möglich sind. Der Schwerpunkt dieses Aufsatzes liegt auf der Auswertung von Full-Waveform-Daten, die über städtischem Gebiet gewonnen wurden. Nach einer Übersicht des vorgestellten Verfahrens zur Klassifikation solcher Profile, wird das zugrunde liegende Datenmodell erläutert. Im Standardmodell ergibt sich die Signalform aus einer Überlagerung der Beiträge aller sich im Kegel des Laserstrahls befindlichen Streukörper, die in guter Näherung mit Gaußkurven approximiert werden können. Dieses Modell ist in vielen Fällen angemessen, insbesondere bei Vegetationsflächen. Zur Beschreibung urbaner Gebiete ist es allerdings nicht hinreichend, daher wird hierzu in diesem Beitrag ein erweitertes generalisiertes Gaußmodell vorgeschlagen. Zur überwachten Klassifikation der Daten dient eine Support-Vector-Maschine, die auf in einem Vorverarbeitungsschritt aus den Profilen extrahierten Merkmalen aufsetzt. Die Ergebnisse zeigen, dass es möglich ist, anhand der Signalformen mit hoher Genauigkeit die Klassen Gebäude, Vegetation, natürliches Gelände und künstliches Gelände zu unterscheiden.

1 Introduction

In the last decade, airborne lidar systems have become an alternative source for acquisition of altimeter data. Such devices deliver a reliable, fast and accurate representation of terrestrial landscapes through georeferenced and unstructured 3D point clouds (root mean square error, RMSE < 0.1 m in altimetry). Range is determined directly according to the signal runtime measurement, whereas stereoscopic techniques derive the 3D information, indirectly based on the camera orientations and the disparity of correspondences in optical images identified by image matching methods. A large body of literature addresses the potential of laser scanning data for urban and suburban area analysis. For instance, many algorithms for classifying lidar point clouds have been developed so far aiming at building detection and subsequent reconstruction (HAALA & BRENNER 1999, SITHOLE & VOSSELMAN 2004).

Often external context information, such as cadastral maps, is exploited. However, even in the case of lack of supplementary data, generally at least the main building outlines can be extracted from the laser point clouds alone. In the latter case the discrimination of buildings from adjacent trees is difficult. All these approaches rely only upon geometric and topologic criteria and have in common that they are sensitive to large off-terrain objects and surface discontinuities. Therefore, many authors proposed to add other inputs like echo intensity (TÓVÁRI & VÖGTLE 2004) or multi-spectral images (ROTTENSTEINER et al. 2005), which are often gathered in parallel to the laser data from the same carrier today, to achieve better results.

Since a few years, a new generation of lidar devices designed to digitize and to record the entire signal of each emitted laser pulse became operational. They are called **full-waveform** lidar systems. Full-waveform data offer the opportunity to overcome many drawbacks of classical multi-echo lidar data (WAGNER et al. 2004). In addition to single range measurements, further physical properties of the objects included in the

diffraction cone may be revealed by analysis of the shape of the sampled backscatter sequence.

Many studies have already been carried out to perform full-waveform data processing, mainly in vegetated areas. The higher point density inside the penetrated canopy offers insight in the vegetation type and state (HARDING et al. 2001). In urban areas, the potential of such data has been barely investigated. For instance, JUTZI & STILLA (2005) extract linear features on roof tops by establishing neighbourhood relationships between waveforms. They also localize more accurate building outlines. Moreover, KIRCHHOF et al. (2008) iteratively process terrestrial waveforms to detect additional points in partially occluded and partly illuminated regions. On the other hand, by exploiting other features in addition to the geometry (*e.g.*, pulse amplitude or width), detection of vegetated areas is now possible (GROSS et al. 2007). To achieve more advanced point classification in urban areas, a theoretical knowledge of the influence of the geometric and radiometric properties of the hit targets (*i.e.*, the differential laser cross-section) on the shape of the lidar waveforms is required.

The aim of the article is to show that a fine analysis of full-waveform lidar data can lead to an accurate classification of urban areas. In Section 2, the general outline of this work is described. Then, a new modelling function is proposed in Section 3 to process raw signals. Results of the integration of the previously extracted features into a supervised classification algorithm are presented in Section 4. The aim is to discriminate four classes: buildings, vegetation, artificial ground, and natural ground regions. The test data sets are outlined in Section 5. Finally, the results of waveform processing and classification are presented and the conclusions are drawn.

2 Overall Methodology

Common laser data formats are clouds of 3D points, often provided without link to the original laser shot. In contrast to this,

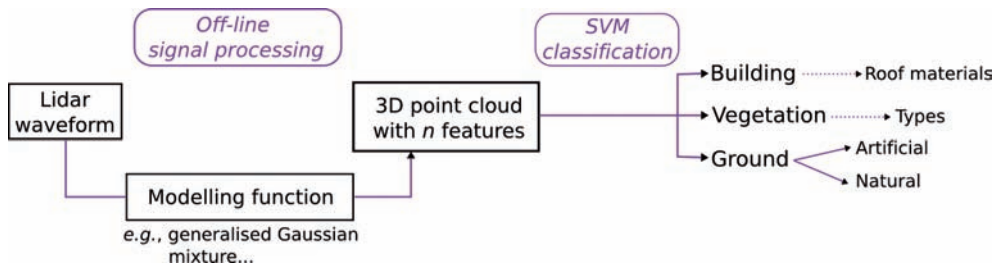


Fig. 1: Lidar waveform processing workflow. Echoes within each waveform are first modelled using an analytical function. The generated 3D point cloud is then classified using features extracted from the signal processing step.

lidar profiles comprise information of the 1D object structure along the line of sight. Nevertheless, such data are more difficult to handle and specific studies have to be carried out. In this article, an approach is proposed to process full-waveform lidar data to extract 3D point clouds featuring more useful parameters in addition to the traditional (x, y, z) coordinates and to subsequently perform a point classification based on these parameters (see Fig. 1).

Waveform processing consists in decomposing the waveform into a sum of components or echoes, in order to characterise the different individual targets along the path of the laser beam. A parametric approach is chosen, i. e., parameters of a mathematical model are estimated. Non-analytic methods like neural networks, or Parzen windows are known to work very well to approximate 1D signals (BISHOP 2006). Nevertheless, they do not provide physical information about the target (laser cross-section). The objective of waveform processing is twofold. It starts in maximizing the detection rate of relevant peaks within each signal in order to foster information extraction from the raw signal. Furthermore, from a class of functions the best fit to the waveform is chosen. This allows to introduce new parameters for each echo and to extract additional information about the target shape and its reflectance.

Then, the extracted point cloud is classified. The aim of our work is to assess whether or not each new parameter introduced is a relevant feature for classification and how significant it is for urban analysis

(does it provide useful information?). The features are fed into a supervised classification algorithm using a Support Vector Machine (SVM). This method is well adapted to deal with high-dimensional feature space since the algorithm complexity does not depend on the data dimension. Furthermore, SVM belong to the non-parametric classification techniques, i. e., no parametric probability density functions are required. In recent years, SVM became relevant for solving remote sensing classification tasks. SVM permits to use jointly classical geometric features, image-based information (SECORD & ZAKHOR 2007) as well as in our case new parameters extracted from the post-processing step.

The methodology for classifying urban areas by lidar waveform analysis is designed to be flexible. Depending on the modelling function, the theoretical understanding of pulse propagation in such regions and the chosen options of the SVM classifier, it is possible to refine the classification (e. g., by splitting the “vegetation” class in tree species or “buildings” in roof materials).

3 Waveform Processing

Our methodology is based on a paper written by CHAUVE et al. (2007). The authors describe a waveform processing using an iterative Non-Linear Least Squares fitting algorithm. After coarse initial peak detection, missing peaks are found in the difference between the modelled and the initial signal. If new peaks are detected, the fit is performed

again. This process is repeated until no further improvement is possible. This enhanced peak detection method is useful to model complex waveforms with overlapping echoes and also to extract weak echoes not found by on-line detection techniques. In urban areas, the former case is observed when the laser beam hits building edges. The resulting waveform is therefore composed of distributed backscatters of the roof and the ground, which can often not be separated by hardware detection algorithms using thresholds.

Waveforms collected with a small-footprint lidar system are used in this article (RIEGL LMS-Q560). Such data can be well modelled by superposition of Gaussian pulses. WAGNER et al. (2006) have shown that more than 98% of the observed waveforms collected from the RIEGL system could be approximated by a sum of Gaussian functions. Each laser output pulse shape is assumed to be Gaussian, with a specific and calibrated width. The collected pulse is therefore a convolution between this distribution and a “surface” function, depending on the reflecting objects. Nevertheless, the

transmitted signal is not always Gaussian. Indeed, it is observed that the LMS-Q560 transmitted waveform is slightly asymmetric.

In urban areas, most of the return waveforms are in reality subject to the mixed effects of geometric (*e. g.*, roof slopes) and radiometric object properties (*e. g.*, different kinds of streets and roof materials). Histograms of the four considered classes are illustrated in Fig. 2. Hence, the characteristics of return peaks may differ significantly. It was already shown that standard extensions of the Gaussians model, such as Lognormal and generalized Gaussian functions, are suitable to model raw lidar signals. Using the generalized Gaussian (GG) model improves the signal fitting for symmetric and distorted waveform shapes (more than 99.3% of satisfactory results) (CHAUVE et al. 2007). The authors argue that the Lognormal model fits asymmetric pulses with success but fails for symmetric ones.

Here, the GG model was used to process full-waveform lidar data:

$$f_{GG} = A \cdot \exp\left(\frac{|x - \mu|^{2^2}}{2\sigma^2}\right) \quad (1)$$

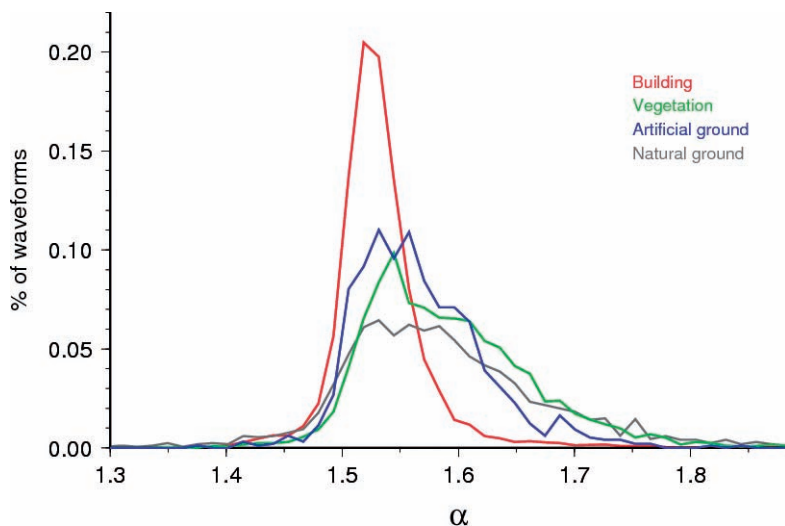


Fig. 2: Histogram of α values over the four test classes. Each plot indicates, for the respective class, the percentage of echoes having a specific α value included in the range [1.3, 1.9]. α is one of the parameters extracted from the signal processing step based on a generalized Gaussian modelling of the peaks. $\alpha = 1.41$ simulates the Gaussian function, typically used for aerial lidar waveform modelling.

where A is the pulse amplitude, σ its width, μ the function mode and α the shape parameter which allows to simulate Gaussian ($\alpha = \sqrt{2}$), flattened ($\alpha > \sqrt{2}$) or peaked ($\alpha < \sqrt{2}$) pulses.

A , σ and α are the three new features which will be introduced in the classification step in Section 4.

4 Classification of Urban Areas

4.1 Methodology

Based on a clustering analysis of the parameters extracted from the modelling step, four classes have been chosen to characterize urban areas: buildings, vegetation, natural ground, and artificial ground. Artificial ground gathers all kinds of streets (tar, asphalt . . .), pavements and, street items (*e. g.*, cars or traffic lights) whereas the natural ground class includes grass, sand, and bare-earth regions.

4.2 Support Vector Machines

The general mathematical formulation of SVMs is briefly recalled in this section.

Linear SVMs

Let D be the data space, Y the label space and A the training set (*e. g.*, $D = \mathcal{R}^n$, $Y = \{-1, 1\}$ in a two-class problem).

The classification is carried out using a linear discriminant function $\omega(D \rightarrow Y)$. $x_i \in A$ are the N training samples available with their labels $y_i/i \in [1, N]$. The theoretical aim of supervised classification is to find a classifier consistent with the training set. The SVM method consists in finding the hyperplane maximizing the distance (called the margin) to the closest training data points in both classes (the support vectors). For a linear classifier, $\omega(x) = \mathbf{w} \cdot x - \theta$, where $\mathbf{w} \in D$ is the normal vector to the hyperplane and θ the bias. We aim at finding the classifier parameters (\mathbf{w}, θ) which verify:

$$\forall (x_i, y_i) \in A, y_i \times (\mathbf{w} \cdot x_i - \theta) > 0 \quad (2)$$

Since the SVM method searches the best classifier (*i. e.*, the largest margin), we impose:

$$\forall (x_i, y_i) \in A, y_i \times (\mathbf{w} \cdot x_i - \theta) \geq 1 \quad (3)$$

The support vectors lie on two hyperplanes $\mathbf{w} \cdot x_i - \theta = \pm 1$ which are parallel and equidistant to the optimal linear separable hyperplane. Finally, the optimal hyperplane has to maximize the margin (*i. e.*, the Euclidian distance between both hyperplanes, defined as $2/\|\mathbf{w}\|$ under the constraints defined in Equation 3). Unfortunately, in most cases, such quadratic optimization problem is unsolvable: we cannot find a linear classifier consistent with the training set, because the classification problem is not linearly separable.

Consequently, slack variables¹ ξ_i are introduced to cope with misclassified samples and prevent Equation 3 from being violated. Another reason is the avoidance of overfitting the classifier to the training samples, which would result in poor performance. Equation 3 thus becomes:

$$\forall (x_i, y_i) \in A, y_i \times (\mathbf{w} \cdot x_i - \theta) > 1 - \xi_i / \forall i \in [1, N], \xi_i \geq 0 \quad (4)$$

C is a constant which determines the trade-off between margin maximization and training error minimization.

The final optimization problem is subsequently:

$$\min \left[\frac{\|\mathbf{w}\|^2}{2} + C \sum_{i=1}^N \xi_i \right] \quad \text{subject to (4)} \quad (5)$$

Nonlinear SVMs

When the classification problem is not linearly separable, one solution consists in changing the feature space. The data is projected in a higher dimension space using a nonlinear mapping function $\Phi: D \rightarrow H$, in which the new distribution of samples enables the fitting of a linear hyperplane. Ker-

¹ A slack variable is a nonnegative variable that turns an inequality into an equality constraint.

nel methods provide nonlinear hyperplanes and improve classification abilities. The same margin optimization method can then be performed.

Finding Φ is a difficult problem. In practise, the x_i points are implicitly projected into H by defining a kernel $K: D \times D \rightarrow \mathfrak{R}$ with $K(x_i, x_j) = (\Phi(x_i) | \Phi(x_j))$. In fact, the knowledge of K is sufficient to compute the optimal classifier. It has only to fulfill Mercer's condition (SCHÖLKOPF et al. 1998).

Multiclass SVMs

SVMs are designed to solve binary problems. When having $n > 2$ classes of interest, various approaches are possible to address the problem, usually combining a set of binary classifiers. We choose the 'one-against-one' approach because it has been shown to be more suitable for large problems (HSU & LIN 2002). For such pairwise classification, $n(n-1)/2$ binary classifiers are computed on each pair of classes. Each sample is assigned to the class getting the highest number of votes. A vote for a given class is defined as a classifier assigning the sample to that class.

In practise

The LIBSVM software is used to implement the SVM algorithm (available at www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm). Slack variables are introduced (soft-margin classifier). Then, the parameter C has to be optimized with the kernel hyperparameters (see Section 4.3).

4.3 Kernel Selection

Without sufficient a priori knowledge of the influence of geometric and radiometric target properties on the pulse shape (or even strong hints about characteristic behaviours on urban areas), it is difficult to design a kernel dedicated to our purpose. Therefore, the generic Gaussian kernel was selected. It is defined as:

$$K(x_i, x_j) = \exp\left(\frac{\|x_i - x_j\|^2}{2\gamma^2}\right) \quad (6)$$

where $x_{i,j}$ is the data to be classified and γ is used to express how similar to the training data the test data is expected to be ($\gamma \rightarrow 0$ for instance leads to over-fitting and consequently reveals a low generalization ability of the classifier). Because optimal values of C and γ are not known beforehand, a grid search is performed in which the cross-validation accuracy (CVA) is computed for each point (the CVA over (C, γ) set is not convex). A v -fold cross-validation procedure is carried out *i.e.*, the training data are divided in v subsets of equal size. The classifier is trained on $v-1$ subsets and ran on the remaining one. Such process has the advantage of not requiring a separate and independent data set for assessing the classification accuracy. The CVA represents the percentage of samples correctly classified averaged over all the subsets when they were used as the testing subset. After the coarse grid search, a finer one is computed in a smaller range around the optimal parameters found in the first step. Grid search is not necessary but is one simple tool for identifying the optimal hyperparameters. Several advanced methods exist. But, for two parameters, the computational time to find (C, γ) with such exhaustive search is not significantly higher than genetics or gradient-based optimization algorithms (CHAPELLE et al. 2002).

4.4 Feature Selection and Relevance

Our feature vector for each lidar point has **eight** components.

- $\mu_{\Delta r}$: difference between the pulse range and the highest range (lowest altitude) found in a large spherical environment (20 m radius for instance; this parameter is selected manually, depending on the data set),
- R : residuals computed from a plane estimated by a robust M-estimators with norm $L_{1,2}$ (the selection of an optimal p has been investigated and for p around 1.2, a good estimate may be expected, see (XU & ZHANG 1996) for more details) on the points in a given neighbourhood

Tab. 1: Empirical values of the selected features for SVM classification for the four labels.

Feature	Building	Vegetation	Artificial Ground	Natural Ground
$\mu_{\Delta r}$	variable	variable	$\rightarrow 0$	$\rightarrow 0$
R	$\rightarrow 0$	high	$\rightarrow 0$	$\rightarrow 0$
n_z	$[-45^\circ, 45^\circ]$	variable	$[-10^\circ, 10^\circ]$	$[-10^\circ, 10^\circ]$
Δz_{fl}	0	high	0	0
N	≈ 1	≥ 1	≈ 1	1
A	variable	medium	low	variable
σ	medium	high	variable	variable
α	[1.5, 1.6]	variable	≈ 1.6	≥ 1.6

(here, a spherical environment of 0.5 m radius),

- n_z : the deviation of the local normal vector from the vertical direction,
- Δz_{fl} : the altitude difference between the first and the last pulse of the waveform,
- **N**: the number of echoes within the waveform of the current lidar point,
- **A**, σ , α : the pulse amplitude, width, and shape, respectively (extracted from the waveform processing step described in Section 3).

The first three parameters can be used with every 3D point cloud (only geometric information). The last three ones are derived by waveform modelling (amplitude can also be available with multiple-pulse point clouds). Feature $\mu_{\Delta r}$ allows to filter points on the terrain from off-terrain points; Δz_{fl} and **N** discriminate vegetation points from the others. Multiple reflections can occur when the laser beam hits a building (due to superstructures, *e. g.*, chimney, roof edges) or a street (due to objects on the street *e. g.*, vehicles or traffic lights). R and n_z values are also affected in these cases. The generalized Gaussian parameters are introduced in the SVMs to see how significant they are for the segmentation between the four classes and in between natural and artificial grounds.

Tab. 1 summarizes the feature values for the different labels. Other features have been tested such as the altimetric texture and sev-

eral moments of the three extracted parameters in a given neighbourhood (mean, standard deviation, and skewness) and the backscatter cross-section (WAGNER et al. 2006) but they were not found relevant for our study.

5 Full-waveform Lidar Data

Two data sets are available for this study. Data acquisition was performed with the RIEGL LMS-Q560 system over the cities of Biberach (Germany) and Le Brusquet (France). The main technical characteristics of this sensor are presented in (WAGNER et al. 2006). The specifications of the two surveys are described in Tab. 2.

Each return waveform is a signal composed of one or two sequences of 60 and 80 samples (for Biberach and Le Brusquet, respectively), *i. e.*, 60 and 80 bins with a recorded amplitude. For each recorded waveform, the digitized emitted pulse and the echoes found by the hardware detection algorithm are given as well as their amplitude and width. In urban areas, the digitization of vertical sections of 60 ns (around 18 m) is sufficient to record backscattered signals both from the tree tops and the ground below them.

The city of Biberach includes residential, industrial, and dense urban areas. The surveyed area of Le Brusquet consists of scattered houses in a rural region.

Tab. 2: Overview of the specification of the data sets (PRF = pulse repetition frequency).

Area	Urban specificity	Flight height (m)	Footprint size (m)	PRF (kHz)	Pulse width (ns)	Temporal sampling (ns)	Pulse density (/m ²)
Biberach	dense	500	0.25	100	> 5	1	2.5
Le Brusquet	sparse	700	0.35	111	> 5	1	> 5

An artifact, specific to the RIEGL sensor and called ‘ringing effect’, is noticed within the waveforms: after the sampled emitted pulse, a small secondary maximum resulting from effects of the hardware waveform processing chain can be seen. Consequently, in urban areas, when the laser beam hits planar objects of high reflectance and with a small angle of incidence (typically streets and roofs), such artifact is still present in the reflected waveform. In the iterative process (see Section 3) a weak pulse just behind a strong one is therefore removed when their amplitude ratio is close to the ratio computed from the emitted pulse.

6 Results and Discussion

6.1 Modelling Raw Signals

As described in detail in (CHAUVE et al. 2007), it is still appropriate to model complex waveforms with the GG function and all the more crucial in urban areas. Indeed,

the benefits of full-waveform data for building reconstruction or classification are two-fold:

First, the GG model improves signal fitting. More relevant points are extracted. Compared to the standard method 5% additional pulses are found which correspond to weak pulses in trees, hedges, building edges and roof superstructures. Furthermore, taking the ‘ringing effect’ into account allows to exclude artifacts (*i. e.*, non-existing points) during post-processing (see Fig. 3). On ground and building regions, ringing points are removed (> 15% of the total number of points).

Secondly and above all, the global signal fitting quality is increased. Flattened and high single pulses as well as narrow ones are now well detected. Fig. 2 shows that since α values are in many cases larger than $\sqrt{2}$ (mean value = 1.52), waveforms are in reality flattened, compared to Gaussian curves. Depending on the application, the Gaussian model can nevertheless be sufficient. For

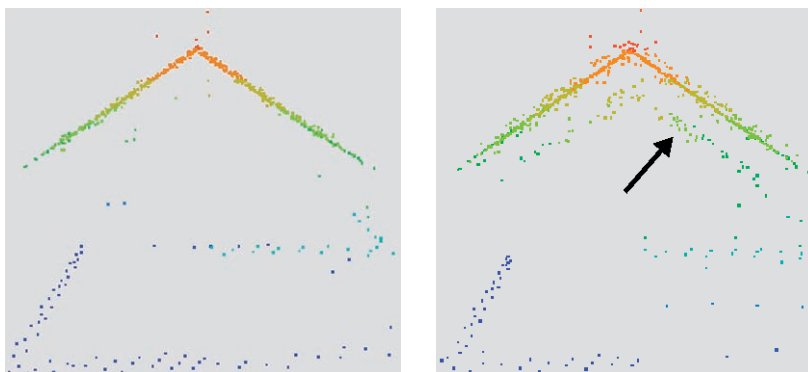


Fig. 3: Building point cloud without taking the ‘ringing effect’ into account (left, the black arrow shows the false point layer). The same data after the removal of the sensor artifacts (right). The roof no longer appears doubled.

example, in forested areas waveforms are mainly composed of at least two peaks. In such application, it is often not of interest to extract a shape parameter, which will depend both on the reflected target and on the targets already hit by the laser beam. But, in urban areas, the GG contribution is all the more significant since this parameter provides genuine information about the target shape and reflectance.

6.2 Behaviour of Extracted Parameters

A visual interpretation of the shape of lidar waveforms is needed and a simulation step is required to understand how the pulse interacts with the targets and to decorrelate geometric and radiometric influences. Amplitude and width values have also to be corrected according to the waveform angle of incidence and the target slope. Analysis of extracted point clouds revealed the following general behaviour of the three extracted parameters for different targets in urban areas:

- High **amplitude** values are found on building roofs independent of the material (except metal), on gravel, on sand, and cars. The lowest values correspond to vegetation points, due to a higher target heterogeneity and attenuation. Asphalt and tar streets have also low amplitude values, but despite low contrast it is possible to visually discriminate different kinds of surfaces.
- Vegetation spreads lidar pulses; that is why the highest **width** values are found

in trees and hedges. Ground and building surfaces coincide with low width values, even if it is noticed that an increasing roof slope tends to increase pulse width.

- Very low and high **shape** values are characteristics of building edges and vegetation. Building regions correspond to α values in a specific range (between 1.5 and 1.6). Natural ground (especially grass) and artificial ground surfaces can also be visually distinguished. However, vegetated areas exhibit comparable values (see Fig. 2).

6.3 Classification

Both data sets have been classified. Approximately 0.8% of the pulses were used for the training step and 1% to find the optimal values of C and γ .

Tab. 3 gives the classification results over the city of Biberach using the vector composed of eight features. It shows that the segmentation between different kinds of ground leads to a certain rate of misclassification. The main reasons are, first, that only few grass or sand regions are present in the Biberach area and therefore only limited numbers of samples are available for training and test. Moreover, the clusters in the feature space of these two classes are very close (*cf.* Tab. 1). The results are therefore very sensitive to the training step and the selected regions. Consequently, the SVM classification often fails when discriminating these two regions. Nevertheless, tests carried out on the city of Le Brusquet (rural area) show that classification in four labels is still

Tab. 3: Confusion matrix computed with ground truth consisting on 6% of the whole data set of Biberach ($\rho = 0.81$ and 135627 points).

Number of points	% points correctly classified	Building	Vegetation	Artificial Ground	Natural Ground
76593	Building	87.1	8.8	3.6	0.5
8943	Vegetation	10.2	88.9	0.7	0.2
49048	Artificial Ground	2.2	2.1	84.6	11.1
1043	Natural Ground	4.1	~ 0	33.2	62.7

conceivable when enough training samples are available (cf. Fig. 5). The *building* and *vegetation* points are well classified. As expected, some building points are classified as *ground* (their values can be close, e. g., a flat dark roof close to the ground) and as *vegetation* especially superstructure and building edge points. Vegetated points can also be labelled as *building* when the laser beam hits dense tree areas.

The overall accuracy ρ is used as a quality criterion and is defined as:

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^{\dim Y} A_{i,j}}{\sum_{i=1}^{\dim Y} \sum_{j=1}^{\dim Y} A_{i,j}} \in [0, 1] \quad (7)$$

where $A_{i,j}$ gives the number of laser points labelled as j and belonging to the class i in reality. ρ is equal to 1 when the classification is perfect and $1/(\text{number of labels})$ when the classifier randomly chooses the class for each point with the same probability. Fig. 4 shows the evolution of the classification accuracy depending on the input features, adding them by their historical ‘order of appearance’ (see part 4.4). The first five attributes are available or can be computed with multi-echo lidar data. Amplitude is sometimes given with the 3D point cloud that is why this feature is then added. The width and shape attributes are finally introduced, beginning with σ to assess the contribution of the generalized Gaussian waveform decomposition compared to the standard Gaussian one. Each new feature improves the classification results but such re-

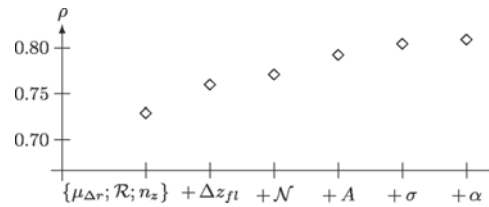


Fig. 4: Overall accuracy evolution depending on the features included in the SVM algorithm. Starting from the vector $\mu_{\Delta r}$, R , n_z , the other ones are added progressively (Biberach area).

sult strongly relies on the order of feature introduction.

A label-by-label analysis reveals first that the amplitude value allows to discriminate building and ground points: ground surfaces have much lower reflectance than roof materials. Moreover, although it is noticed that artificial ground surfaces have lower amplitude values than natural ones, the difference is barely significant and does not permit their discrimination. Feature σ is helpful to enhance the building/vegetation separation but not for ground region segmentation. Results are slightly worse for ground points with α than without the integration of this parameter for the Biberach data sets (63.3% success without α for the *natural ground* class), whereas this parameter visually improves the results over Le Brusquet (see Fig. 5, no ground truth available for this area). Finally, feature α slightly improves point cloud classification by better discriminating building points. Although natural

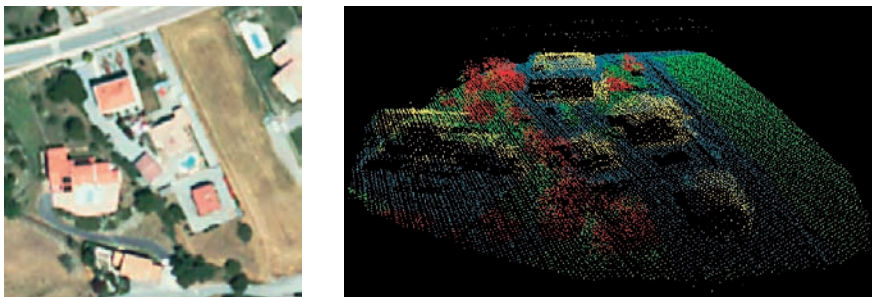


Fig. 5: Classification results in a scattered urban area (Le Brusquet). Left: orthoimage of the region of interest. Right: classified point cloud (yellow: buildings, red: vegetation, blue: artificial ground and green: natural ground).

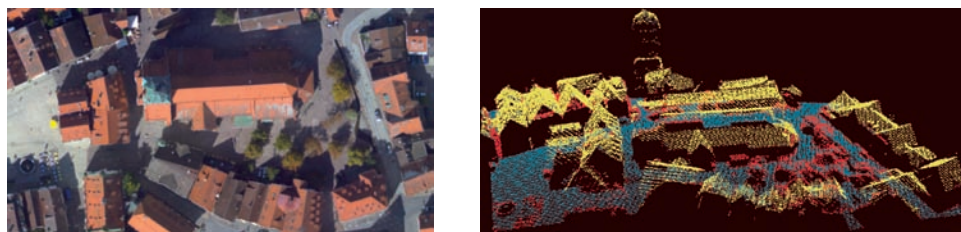


Fig. 6: Classification results in a dense urban area (Biberach). Left: orthoimage. Right: classified point cloud (same colours as in Fig. 5).

and artificial ground surfaces can be visually distinguished using such feature, the SVM classifier fails in splitting these classes. This result was partially expected since the histograms of α values for the two classes are very close (*cf.* Fig. 2). Another attribute has to be found to discriminate ground surfaces better.

Fig. 5 and 6 give examples of classified point over the two surveyed areas. Moreover, by merging the two terrain classes, the overall accuracy of the remaining three classes reaches 0.92 for the Biberach area. It shows that the SVM method is suitable for lidar point classification in dense build-up areas.

Similar accuracies have been reported for instance in (MATIKAINEN et al. 2003, VOSSELMAN et al. 2004), with multi-echo lidar data, sometimes used jointly with aerial images. It is not straightforward to compare the results since different data sets are classified using different methodologies. For this purpose, an optimal SVM classification using only “multi-echo” features has first to be performed on the data sets. Then, waveform features can be introduced to assess the real contribution of full-waveform lidar data. Moreover, since results strongly rely on the order of feature introduction, a feature discriminant analysis has also to be carried out to evaluate this contribution.

7 Conclusions and Perspectives

A flexible methodology for full-waveform lidar data analysis and classification in urban areas has been proposed in this article. In a first part, it has been shown that accu-

rately modelling waveforms improves signal fitting and provides point clouds with additional useful parameters. Such parameters can physically be interpreted and significantly contribute to an appropriate classification algorithm. The main limitation is that the parametric expression of the waveform functions has no longer a simple formulation and new algorithms are needed to perform the optimization step. The Reversible Jump Markov Chain Monte-Carlo (RJCMCMC) technique is one of them and will be soon used to handle more complex modelling functions.

In a second part, we can conclude that the SVM is a suitable methodology to perform classification in urban areas since it can handle classical geometric features like the 3D coordinates together with new features extracted from the waveform processing step. First results are promising; discrimination of buildings, vegetation, and ground regions was achieved with 92% accuracy in dense urban areas. Segmentation of different kind of surfaces is also possible.

Many improvements are conceivable with regards to the results. First, other generic SVM kernels have to be tested. On the other hand, a specific kernel can be formulated dedicated to our specific task. For that purpose, the number and kind of features has to be adapted and therefore synthetic cues must be found. Another solution is to iteratively process SVM classification focusing at each step on a specific class and segment it more precisely. A third possibility is to skip the step of feature choice and to use the vectors of the captured waveforms instead.

Finally, the classification results shall be the foundation of higher-level reasoning aiming at the 3D reconstruction of buildings. For this purpose geometric and topologic object features will be modelled, which are required for instance for object grouping.

Acknowledgments

The authors would like to thank the Maison de la Télédétection (French Remote Sensing Center) for providing the data set over Le Brusquet.

References

- BISHOP, C., 2006: Pattern Recognition and Machine Learning. – Springer, New York, USA.
- CHAPELLE, O., VAPNIK, V., BOUSQUET, O. & MUKHERJEE, S., 2002: Choosing Multiple Parameters for Support Vector Machines. – Machine Learning **46** (1): 131–159.
- CHAUVE, A., MALLET, C., BRETAR, F., DURRIEU, S., PIERROT-DESEILLIGNY, M. & PUECH, W., 2007: Processing full-waveform lidar data: modelling raw signal. – The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences **36** (3/W52): 102–107.
- GROSS, H., JUTZI, B. & THOENNESSEN, U., 2007: Segmentation of tree regions using data from a full-waveform laser. – The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences **36** (3/W49A): 57–62.
- HAALA, N. & BRENNER, C., 1999: Extraction of buildings and trees in urban environments. – ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing **54** (2/3): 130–137.
- HARDING, D., LEFSKY M. & PARKER, G., 2001: Laser altimeter canopy height profiles. Methods and validation for closed-canopy, broadleaf forests. – Remote Sensing of Environment **76** (9): 283–297.
- HSU, C.-W. & LIN, C.-J., 2002: A comparison of methods for multi-class Support Vector Machines. – IEEE Transactions on Neural Networks **13** (6): 415–425.
- JUTZI, B. & STILLA, U., 2005: Waveform processing of laser pulses for reconstruction of surfaces in urban areas. – The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences **36** (8/W27).
- KIRCHHOF, M., JUTZI, B. & STILLA, U., 2008: Iterative processing of laser scanning data by full waveform analysis. – ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing **63** (1): 99–114.
- MATIKAINEN, L., HYYPPÄ, J. & HYYPPÄ, H., 2003: Automatic Detection of Buildings from Laser Scanner Data for Map Updating. – The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences **34** (3/W13): 218–224.
- ROTTENSTEINER, F., TRINDER, J., CLODE, S. & KUBIK, K., 2005: Using the Dempster-Shafer method for the fusion of LIDAR data and multi-spectral images for building detection. – Information Fusion **6**: 283–300.
- SCHÖLKOPF, B., BURGESS, C.J.C. & SMOLA, A.J., 1998: Advances in Kernel Methods. Support Vector Learning. – The M.I.T. Press, Cambridge, USA.
- SECORD, J. & ZAKHOR, A., 2007: Tree Detection in Urban Regions Using Aerial LiDAR and Image Data. – IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters **4** (2): 196–200.
- SITHOLE, G. & VOSSelman, G., 2004: Experimental comparison of filter algorithms for bare-Earth extraction from airborne laser scanning point clouds. – ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing **59** (1–2): 85–101.
- TÓVÁRI, D. & VÖGTLE, T., 2004: Classification methods for 3D objects in laserscanning data. – The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences **35** (B3): 408–413.
- VOSSelman, G., GORTE, B.G.H. & SITHOLE, G., 2004: Change detection for updating medium scale maps using laser altimetry. – The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences **35** (B3): 207–212.
- WAGNER, W., ULLRICH, A., DUCIC, V., MELZER, T. & STUDNICKA, N., 2006: Gaussian Decomposition and calibration of a novel small-footprint full-waveform digitising airborne laser scanner. – ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing **60** (2): 100–112.
- WAGNER, W., ULLRICH, A., MELZER, T., BRIESE, C. & KRAUS, K., 2004: From single-pulse to full-waveform airborne laser scanners: Potential and practical challenges. – The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences **35** (B3): 201–206.
- XU, G. & ZHANG, Z., 1996: Epipolar Geometry in stereo, motion and object recognition. – Kluwer Academic Publishers, Boston, USA.

Addresses of the Authors:

Clément Mallet and Dr. Frédéric Bretar, Laboratoire MATIS, Institut Géographique National, 2-4 av. Pasteur, F-94165 Saint-Mandé Cedex, Tel.: +33-1-43-98-80-00 + 75 66, Fax: +33-1-43-98-85-81, e-mail: clement.mallet|frederic.bretar@ign.fr

Prof. Dr.-Ing. Uwe Soergel, Institut für Photogrammetrie und GeoInformation (IPI), Leibniz Universität Hannover, Nienburger Straße 1, D-30167 Hannover, Tel.: +49-511/762-2981, Fax: +49-511/762-2483, e-mail: soergel@ipi.uni-hannover.de

Manuskript eingereicht: April 2008
Angenommen: Juni 2008

Ein neues Modell für eine spektrale Entmischung ohne genaue Endmemberspektren

MATTHIAS SCHRAMM, Hannover und Würzburg;

TOBIAS LANDMANN, Würzburg;

PETER LOHMANN & CHRISTIAN HEIPKE, Hannover

Keywords: lineare spektrale Entmischung, L2-Norm-Schätzung, ungenaue Endmember

Summary: *A New Model for a Spectral Mixture Analysis Without Accurate Endmember Spectra.*

This paper describes a new method for linear spectral mixture analysis. Endmember spectra are only used as initial values in a least squares adjustment according to a Gauß-Markov model. The observations of the adjustment are the spectra of pixels in a pre-defined neighbourhood, the important result are improved endmember spectra. In a subsequent step the endmember percentages per pixel are derived using the MESMA approach. Using a level 1B ASTER satellite image of Burkina Faso the accuracy of the new model is compared to that of a standard unmixing approach. The new model predicts vegetation components considerably more accurate.

Zusammenfassung: Dieser Artikel beschreibt einen neuen Ansatz zur linearen spektralen Entmischung. Dabei werden *Endmemberspektren* lediglich als Näherungswerte für eine L2-Norm-Schätzung nach Gauß-Markov verwendet. Beobachtungen der Ausgleichung sind alle Spektren einer definierten Nachbarschaft an Pixeln; das wesentliche Ergebnis sind verbesserte *Endmemberspektren*. Die Anteile der einzelnen *Endmember* pro Pixel werden in einem nachfolgenden Schritt mit Hilfe des MESMA-Ansatzes bestimmt. Auf Basis eines Level 1B-ASTER-Satellitendatensatzes aus Burkina Faso wird die Genauigkeit dieses Modells einem herkömmlichen Entmischungsansatz gegenübergestellt. Das Ergebnis des neuen Ansatzes zeigt eine zu dem Vergleichsverfahren deutlich verbesserte Abschätzung der Vegetationsanteile in Savannen-Ökosystemen.

1 Einleitung

Das Klima und damit einhergehend die Artenvielfalt vieler Ökosysteme ist wegen expandierender menschlicher Aktivitäten wie Bewirtschaftung weltweit Veränderungsprozessen ausgesetzt (z. B. NAGENDRA 2001). Besonders in Regionen mit steigender Bevölkerung wurde in den letzten Jahren eine sich wandelnde Landoberfläche beobachtet. Der Wandel geht mit einer verstärkten Abholzung einher, was wiederum zu einer Beschleunigung der Bodenerosion führen kann. Die Folge sind Veränderungen von Strahlungshaushalt und Grundwasserspiegel bis hin zu Desertifikation und regionaler Klimaänderung. Besonders hoch ist

die Anfälligkeit auf Umweltveränderungen in Westafrika, da die natürlichen Ressourcen in diesem meist semi-ariden Raum limitiert sind und eine steigende Bevölkerung zu deren Erschöpfung beiträgt.

Das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderte Projekt BIOTA (Biodiversity Monitoring Transect Analysis) beschäftigt sich mit den Problemen der Abnahme von Biodiversität und des Verlustes von natürlichen Rohstoffen. Insbesondere der auf selektiver Abholzung beruhende Verlust an natürlichen Ressourcen sowie die räumliche und zeitliche Veränderung der Vegetationsstruktur können flächendeckend effektiv – insbesondere durch eine Abschätzung von Baumdichteindizes –

aus Satellitendaten abgeleitet werden. Die selektiven Abholzungen in dieser Region haben sehr feinskalige Auswirkungen. Diese liegen unterhalb der geometrischen Auflösung der meisten Fernerkundungssysteme. Konventionelle Klassifikationen liefern daher in diesen Fällen zu grob aufgelöste Ergebnisse, da jedem Pixel nur eine einzige Landoberflächenklasse zugeordnet werden kann. Das Problem ist seit langem bekannt, siehe z. B. BÄHR (1982). Verfahren der spektralen Entmischung versprechen dagegen aufgrund ihrer Möglichkeiten zur Abschätzung der Subpixelanteile mehrerer Materialien, sogenannter *Endmember*, genauere Ergebnisse.

In diesem Artikel werden zunächst das Modell der linearen spektralen Entmischung und dessen Grenzen beschrieben. Es folgen die Vorstellung und Erläuterung einer neuen Methode einer verbesserten Abschätzung von Endmemberspektren mittels nichtlinearer spektraler Entmischung. Diese wird dann anhand eines Untersuchungsgebietes in Burkina Faso (Westafrika) mit einem herkömmlichen Modell zur spektralen Entmischung verglichen.

2 Lineare spektrale Entmischung

Die lineare spektrale Entmischung (*spectral mixture analysis/SMA*) ist eine weit verbreitete Methode, um aus Satelliten-Bilddaten Subpixelanteile von Vegetation, Böden und anderen spektral ausgeprägten Materialien

abzuleiten. Sie basiert auf der Annahme, dass ein Pixelspektrum im Merkmalsraum in einem Unterraum liegt, welches durch die Spektren der im Pixel vorkommenden *Endmember* aufgespannt wird. *Endmember* sind dabei definiert als die reinen Bestandteile eines Oberflächentypes. Übertragen in den Merkmalsraum bilden sie eine konvexe Hülle um die Punktwolke des Bildes. Pixel, welche beispielsweise aus drei *Endmembers* bestehen, liegen damit auf einer Ebene, deren Parameter von den Endmemberspektren abhängen. Ihre genaue Position auf der Ebene hängt von den Oberflächenanteilen der einzelnen *Endmember* im Pixel ab. Im Standardfall der linearen spektralen Entmischung sind die Spektren aller *Endmember* bekannt, so dass nur die einzelnen Subpixelanteile in einem pixelbasierten Verfahren bestimmt werden müssen (siehe Abb. 1, hier sind 2 *Endmember* dargestellt). In Gleichung 1 wird das mathematische Modell der SMA für ein beliebiges Pixel (z. B. HOBBS & THOMAS 1996) aufgezeigt.

$$l_j = \sum_{i=1}^m a_i \cdot s_{ij} \quad (1)$$

Dabei stellt l_j den Grauwert im Kanal j dar, während s_{ij} den Grauwert des *Endmembers* i im Kanal j und die a_i deren Anteile im Pixel beschreiben. m steht für die Anzahl *Endmember* im Pixel und muss vorgegeben werden. Das Spektrum – bestehend aus den Grauwerten l_j aller Kanäle – wird, genau wie

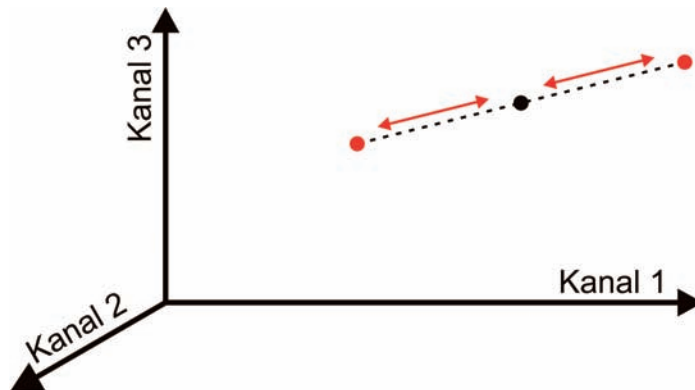


Abb. 1: Bei bekannten *Endmemberspektren* (rot) im Merkmalsraum kann von der Position des *Pixel*spektrums (schwarz) auf die Anteile der *Endmember* im *Pixel* geschlossen werden.

die Endmemberspektren, als bekannt angesehen. Die gesuchten Endmemberanteile sind damit durch das in Gleichung 1 beschriebene lineare Gleichungssystem bestimmt. Durch die Verwendung von mehr Kanälen als *Endmember* ist dieses System überbestimmt und kann z. B. mittels L2-Norm-Schätzung nach dem Gauß-Markov Modell (z. B. NIEMEIER 2001) gelöst werden. Dabei werden die in das Modell einfließenden Bilddaten als gleich genau und zueinander unkorreliert angesehen (Gleichung 2).

$$v_j = \sum_{i=1}^m (\hat{a}_i \cdot s_{ij}) - l_j \quad (2)$$

Hierbei sind \hat{a}_i die unbekanntenen Oberflächenanteile der *Endmember* i , während v_i die Verbesserungen der beobachteten Grauwerte l_j im Kanal j darstellen. Als weitere Modellgleichung sollte eine Bedingungsgleichung (formulierbar auch als hoch gewichtete Pseudobeobachtung) aufgestellt werden, mit der die Summe aller Endmemberanteile eines Pixels als 1 bzw. 100% beschrieben wird (siehe Gleichung 3).

$$1 = \sum_i a_i \quad (3)$$

Die zusätzliche Bedingung, dass jeder einzelne Endmemberanteil größer oder gleich 0 sowie kleiner oder gleich 1 sein muss, ist in den Standardmodellen der linearen spektralen Entmischung nicht vorgesehen, da die Behandlung von Ungleichungen in Ausgleichungsproblemen relativ komplex ist (z. B. KOCH & HEIPKE 2006). In der Folge besteht die Möglichkeit, dass durch Systemrauschen Endmemberanteile von unter 0 oder über 100% ermittelt werden.

Um das lineare Gleichungssystem eindeutig lösen zu können, muss das Pixelpektrum wie erwähnt aus mindestens ebenso vielen Kanälen bestehen wie *Endmember* in dem Pixel gesucht werden. Bei der Verwendung von multispektralen Satellitendaten besteht der komplette Datensatz aber normalerweise aus mehr *Endmembers* als Kanäle verfügbar sind. Normalerweise werden bei der spektralen Entmischung mittels SMA relativ wenige, grob definierte End-

memberspektren als Eingangsparameter gewählt, was zu einem Genauigkeitsverlust in der Anteilsschätzung führt (THESEIRA et al. 2002). Dieser Effekt wird durch Verwendung eines weiterführenden Modells – *Multiple Endmember Spectral Mixture Analysis* (MESMA) – umgangen. Dabei werden aus einer Bibliothek von beliebig vielen Endmemberspektren Kombinationen gebildet und diese im Entmischungsmodell als gegeben angesehen (z. B. OKIN et al. 1999). Die aus der Überbestimmung resultierenden Residuen der einzelnen Kombinationen werden anschließend miteinander verglichen, wobei das Modell mit dem kleinsten Residuenvektor das entsprechende Pixel am besten beschreibt. Mit dieser Methode ist es möglich, dass in einem Bild mehr *Endmember* modelliert werden können als Kanäle zur Verfügung stehen, solange die Begrenzung für die maximale Anzahl *Endmember* in einem einzelnen Pixel eingehalten wird. So besteht mit Hilfe des MESMA-Ansatzes die Möglichkeit, aus einem mehrkanaligen Satellitenbild in einem Pixel z. B. die *Endmember* nackter Boden, Wasser und grüne Vegetation zu finden, während in einem zweiten Pixel verbrannte Fläche, trockene Vegetation und nackter Boden detektiert werden können. Daneben werden häufig auf der Grundlage zusätzlichen Wissens über die Szene Vorüberlegungen getroffen, welche Endmember zwingend in einem Pixel vorkommen müssen. Damit können mögliche Endmemberkombinationen eingegrenzt werden, was oft auch zu einer Genauigkeitssteigerung führt.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, reine Endmemberspektren zu definieren: (a) Messungen im Feld oder im Labor, (b) Verwendung von existierenden spektralen Bibliotheken und (c) Ableitung aus dem zu bearbeitenden Bild. Allerdings werden bei in-situ-Messungen die spektralen Variabilitäten der *Endmember* innerhalb einer Spezies bzw. im Jahresverlauf nicht berücksichtigt. Dieses Problem kann im MESMA-Ansatz durch die Verwendung mehrerer unterschiedlicher Spektren für ein *Endmember* reduziert werden. Spektrale Bibliotheken werden unter anderem vom USGS (*United Sta-*

tes Geological Survey – USGS 2007), der John Hopkins University, der University of Maryland und dem Jet Propulsion Laboratory zur Verfügung gestellt. Die Bibliotheken beziehen sich hauptsächlich auf *Endmember* aus mittleren bis hohen geographischen Breitengraden. Die meisten Pflanzenspezies in den semi-ariden Savannengebieten Afrikas weisen aber wegen des Wasserstressses besonders um die Wellenlänge der red edge (ca. 670–800 nm) ein signifikant verändertes Spektrum auf (ASNER & HEIDBRECHT 2002, LOVELOCK & ROBINSON 2002). Weiterhin berücksichtigen spektrale Bibliotheken nicht die Veränderung der Endmemberspektren durch atmosphärische Störungen, was zu einer weiteren Unsicherheit führen kann. Zur Extraktion der Spektren aus dem Bild selber gibt es mehrere Möglichkeiten. Beim Verfahren des *Pixel Purity Index* (PPI) werden im Merkmalsraum in einem zufallsbasierten Verfahren eine Vielzahl von Vektoren gebildet (MICRO-IMAGES 2007). Die Punktwolke wird auf die durch die Vektoren verlaufenden Geraden projiziert. Für jede Gerade werden Spektren, deren Projektionen in der Nähe der Grenzen des sich ergebenden Intervalls liegen, als Kandidaten für *Endmember* betrachtet. Auf diesem Wege mehrmals detektierte Pixel können als spektral rein angesehen werden. In semiariden Gebieten kommen reine Pixel mit photosynthese-aktiver Vegetation allerdings nur selten vor, so dass

dieser Ansatz für unsere Aufgabe ungeeignet erscheint (PEDDLE & SMITH 2005). Bei einer anderen Möglichkeit zur Bestimmung der Endmemberspektren aus Referenzbildern – dem *Sequential Maximum Angle Convex Cone* (SMACC) – wird davon ausgegangen, dass die *Endmember* auf dem konvexen Polygon um die Punktwolke liegen und sie einen Raum mit größtmöglichem Volumen aufspannen (GRUNINGER et al. 2004). Auch dieser Algorithmus benötigt Referenzspektren aus reinen Pixeln, die in Satellitendaten semiarider Gebiete nur selten vorkommen.

Mit den bisherigen Methoden lassen sich also keine genauen Endmemberspektren für einen automatisierten Prozess ermitteln. Um dieses Problem zu umgehen, wurde ein weiterführender Ansatz der SMA entwickelt, der Endmemberanteile ohne genaue Kenntnis von deren exakten Spektren schätzt.

3 Ein neuer Ansatz zur spektralen Entmischung

Bei dem hier vorgestellten neuen Ansatz zur spektralen Entmischung sind im Gegensatz zu bisherigen Entmischungsmodellen neben den Anteilen auch die genauen Spektren der *Endmember* zu schätzen. Somit können wegen regionaler Einflüsse veränderte Spektralbibliotheken berücksichtigt werden. Weiterhin ist das Modell in der Lage, die natürliche spektrale Variabilität der Oberflächen

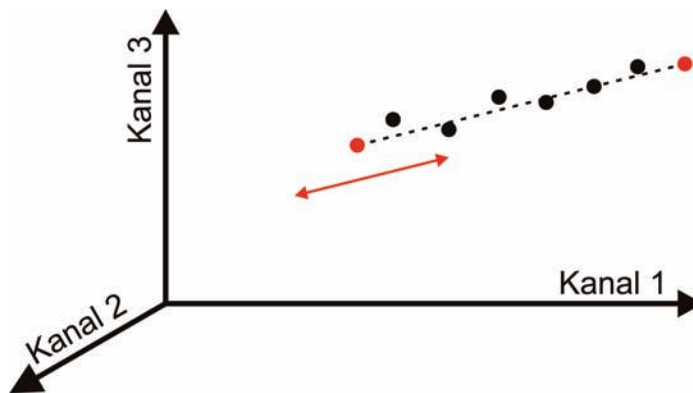


Abb. 2: Pixel- und Endmemberspektren im Merkmalsraum. Pixel liegen auf einem von den Endmemberspektren (rot) aufgespannten Unterraum (hier eine Gerade). Die *Endmember* können entlang der Geraden variieren, ohne dass sich die Pixelspektren ändern.

zu berücksichtigen. Durch die zusätzlichen Unbekannten führt eine pixelbasierte Schätzung aus multispektralen Daten jedoch nicht mehr zu einem überbestimmten Gleichungssystem. Deshalb werden hier, abweichend zu Gleichung 1, die Anteile mehrerer benachbarter Pixel gleichzeitig geschätzt (Gleichung 4). Dabei wird angenommen, dass die *Endmember* der benachbarten Pixel spektral identisch sind, sie also nur einmal als Unbekannte in das Modell eingehen. Die Zusammensetzung pro Pixel kann allerdings variieren.

$$I_{jk} = \sum_{i=1}^m a_{ik} \cdot s_{ij} \tag{4}$$

I_{jk} stellt die Beobachtung im Kanal j dar, der Index k steht für ein Pixel in der Nachbarschaft. s_{ij} bezeichnet wieder den – jetzt jedoch unbekannt – Grauwert des *Endmembers* i im Kanal j , die a_{ik} beschreiben deren Anteile im Pixel k . Die Anzahl der Unbekannten beträgt demnach $m(p + n)$, wobei n die Anzahl Kanäle des Bildes, p die Anzahl der benachbarten und gemeinsam betrachteten Pixel und m die Anzahl gesuchter *Endmember* bedeutet.

Wie beschrieben, liegen die Pixelspektren im n -dimensionalen Merkmalsraum in einem von ihren m *Endmembers* aufgespannten Unterraum. Spektren von Pixeln mit gleichen *Endmembers* sind deshalb nicht linear unabhängig. In Abb. 2 ist ein Beispiel von dreikanaligen Pixelspektren (schwarze

Punkte) dargestellt, welche alle aus denselben beiden *Endmembers* (rote Punkte) bestehen. Sie können – je nach *Endmember*-anteil – nur auf der von den beiden *Endmemberspektren* aufgespannten Geraden liegen. Die *Endmemberspektren* können sich entlang der Geraden bewegen, was sich auf die zu berechnenden Subpixelanteile, nicht aber auf die Pixelspektren auswirkt.

Die hier vorgeschlagene Lösung zerlegt das Problem in zwei Teile: in einem ersten Schritt werden ausgehend von Näherungswerten die tatsächlich vorliegenden Spektren der *Endmember* geschätzt, im zweiten Schritt dann die Anteile der *Endmember* pro Pixel. Während für den ersten Schritt ein neu entwickelter Algorithmus eingesetzt wird, der auf der gemeinsamen Schätzung der Unbekannten in einer lokalen Nachbarschaft nach der Methode der kleinsten Quadrate beruht, erfolgt der zweite Schritt mit Hilfe des bekannten MESMA-Ansatzes.

Es ist möglich, aus den Spektren Aufpunkt und Richtungsvektoren des von m *Endmembers* aufgespannten m -dimensionalen Unterraums zu schätzen. Die dafür aufzustellenden Beobachtungsgleichungen ergeben sich aus der Parameterdarstellung des in Abb. 3 für ein Beispiel mit drei Kanälen und drei *Endmembers* dargestellten Unterraumes (siehe auch Gleichung 5).

$$I_{jk} = b_{j1} + \sum_{q=2}^m t_{qk} \cdot (b_{jq} - b_{j1}) \tag{5}$$

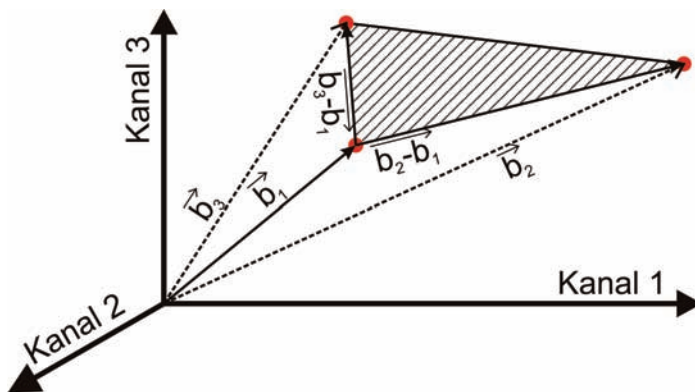


Abb. 3: Darstellung eines von drei *Endmembers* (rot) aufgespannten Unterraums (Ebene) in einem dreikanaligen Merkmalsraum.

Dabei stellt b_{jl} den Grauwert des ersten *Endmembers* im Kanal j dar und die Differenzen $(b_{jq} - b_{jl})$ beschreiben die $m-1$ Richtungsvektoren des Unterraums. t_{qk} sind die für die Koordinatenbestimmung eines Punktes im Unterraum benötigten Faktoren. Um die aus den einzelnen Nachbarschaften bestimmten Unterräume miteinander vergleichen zu können, muss die Parameterdarstellung standardisiert werden. So wird die Bedingung eingeführt, dass der Vektor \mathbf{b}_j auf den Schnittpunkt des Unterraumes mit der Achse $x_1 = x_2 = \dots = x_{m-1} = 0$ zeigt. Weiterhin bilden die ersten $m-1$ Dimensionen der Vektoren $(b_i - b_j)$ ein kartesisches Koordinatensystem parallel zum System des Merkmalsraums. Mit diesen Restriktionen lautet die Beobachtungsgleichung in Vektorform dann wie folgt:

$$\mathbf{l}_k = \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \\ \vdots \\ b_{n,1} \end{bmatrix} + t_{2,k} \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ d_{n,2} \end{bmatrix} + t_{3,k} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ \vdots \\ d_{n,3} \end{bmatrix} + \dots \quad (6)$$

$$\text{mit } \begin{aligned} d_{i,2} &= b_{j,2} - b_{j,1} \\ d_{i,3} &= b_{j,3} - b_{j,1} \end{aligned}$$

In einem z. B. dreidimensionalen Merkmalsraum mit aus drei *Endmembers* bestehenden Pixeln (siehe Abb. 3) schneidet die durch die *Endmember* aufgespannte Ebene an einem bestimmten Punkt die Achse des dritten Kanals. Dieser Punkt wird als Aufpunkt der Ebene definiert. Die beiden Richtungsvektoren zeigen in Richtung der Kanäle 1 und 2 (Gleichung 7):

$$\mathbf{l}_k = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ b_{3,1} \end{bmatrix} + t_{2,k} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ d_{3,2} \end{bmatrix} + t_{3,k} \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ d_{3,3} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\text{mit } \begin{aligned} d_{3,2} &= b_{3,2} - b_{3,1} \\ d_{3,3} &= b_{3,3} - b_{3,1} \end{aligned}$$

Gleichung 5 kann im Rahmen einer L2-Norm-Schätzung nach Gauß-Markov zur

Schätzung der Unbekannten verwendet werden.

$$v_{jk} = \hat{b}_{j1} + \sum_{q=2}^m \hat{t}_{qk} \cdot (\hat{b}_{jq} - \hat{b}_{j1}) - l_{jk} \quad (8)$$

Die Werte l_{jk} bilden dabei die Beobachtungen. Entsprechend Gleichung 6 sind alle t_{qk} sowie diejenigen Elemente der Vektoren \mathbf{b}_q zu schätzen, die nicht mit Standardwerten vorgelegt sind.

Im Modell werden mehrere Grundannahmen getroffen:

- Die ausgeglichenen Spektren liegen im Merkmalsraum in dem von den *Endmembers* aufgespannten Unterraum. Damit beträgt die Summe aller Endmemberanteile in den jeweiligen Pixeln 100%. Diese Bedingung muß deshalb im Gegensatz zum Standardansatz der spektralen Entmischung (siehe Gleichung 3) nicht explizit aufgenommen werden.
- Alle Pixel in der jeweils betrachteten Nachbarschaft bestehen aus derselben Endmemberkombination. Damit können die Unterraumparameter geschätzt werden.
- Die aus den unterschiedlichen Pixelfenstern ermittelten Unterräume sind miteinander vergleichbar. Das bedingt sowohl ein flaches Relief als auch einen konstanten atmosphärischen Einfluss im Satellitenbild, da sonst wegen der gerichteten Streuung der Oberflächen bei unterschiedlichen Reflektionswinkeln bzw. wegen unterschiedlicher Lichtabsorption der Atmosphäre identische Oberflächen im Aufnahmesystem spektral verschieden dargestellt werden.

Da diese Schätzung ein nichtlineares Gleichungsproblem darstellt, muss die Berechnung iterativ erfolgen. Als Näherungswerte der Unterraumvektoren werden hier für die erste Iteration die Spektren aus vorhandenen Spektralbibliotheken in die Parameter der standardisierten Unterraumdarstellung transformiert. Um hinreichend genaue Näherungsspektren zu erhalten, findet hier – ähnlich wie im MESMA-Ansatz – eine Berechnung mit mehreren sinnvollen End-

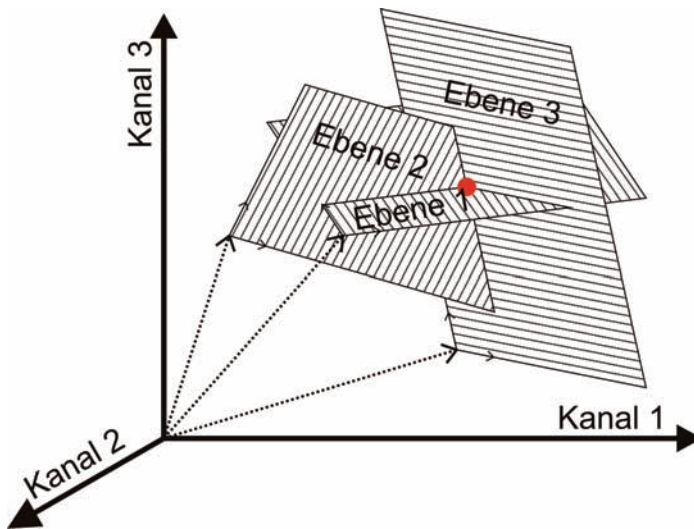


Abb. 4: Weisen drei Pixelfenster nur ein gemeinsames *Endmember* auf, schneiden sich die aus ihnen ermittelten Unterräume in einem Punkt im Merkmalsraum (roter Punkt).

memberkombinationen statt. Es ist bei diesem Verfahren allerdings nur noch ein Spektrum pro *Endmembertyp* nötig. Da diese Spektren nur als Näherungswerte dienen, können sie auch in Regionen angewendet werden, in denen sie nicht empirisch bestimmt wurden. Die daraus resultierende Variabilität beeinflusst das Modell nicht. Von den ermittelten Näherungen wiederum sind die Näherungswerte für die t_{qk} ableitbar. Diese definieren nicht die Anteile der *Endmember* im Pixel, sondern sind die Parameter des standardisierten Unterrums, welche das gegebene Pixelspektrum I beschreiben.

Durch die Schätzung von standardisierten Unterrumparametern ist es möglich, in verschiedenen Pixelfenstern von identischen *Endmemberkombinationen* aufgespannte Unterräume zu ermitteln. Wegen atmosphärischer Störungen und anderer Einflussfaktoren wie zum Beispiel Aufnahmegeometrie und *BRDF* (*Bidirectional Reflectance Distribution Function*) oder der natürlichen spektralen Variabilität weisen die *Endmember* naturgemäß nicht über den gesamten Raum die exakt gleichen Spektren auf, wodurch sich auch die zu schätzenden Unterrumparameter ändern. Deshalb werden in einem

nachfolgenden Schritt identische *Endmemberkombinationen* mittels einer unüberwachten Klassifizierung der Unterrumparameter bestimmt und die Ergebnisse dann pro Unterraum gemittelt.

Zur Bestimmung der Spektren der *Endmember* wird schließlich ausgenutzt, dass sich Unterräume schneiden, wenn sie aus teilweise identischen *Endmembers* gebildet werden (siehe Abb. 4). Aus den von jeweils m *Endmembers* aufgespannten Unterräumen werden in allen Kombinationen die Schnittpunkte aus m standardisierten Darstellungen bestimmt. Diese entsprechen den gesuchten *Endmemberspektren*, wenn sie das zusätzliche Kriterium erfüllen, nahe des konvexen Polygons der Punktwolke aller Pixelspektren zu liegen.

4 Untersuchungsgebiet und Datengrundlage

Das Untersuchungsgebiet liegt ungefähr 240 km südwestlich von Ouagadougou und umfasst den 420 km² großen Nationalpark Bontioli (Burkina Faso) und angrenzende, meist landwirtschaftlich genutzte Gebiete. Die Region liegt in der semiariden Sudan-Klimazone, die durch eine ausgeprägte Re-

genzeit von Juni bis Oktober gekennzeichnet ist. Die durchschnittliche jährliche Niederschlagsäule liegt bei ungefähr 1000 mm. Typisch für diese Klimazone sind extensive annuelle Grasflächen, die zum Ende der Regenzeit ihre maximale Wachstumshöhe erreichen. Die Gräser können im Nationalpark Bontoli bis zu 2,5 m hoch werden (CORD 2007). In der Trockenzeit von Mitte Oktober bis Ende März trocknet die Vegetation ohne Flussanbindung, insbesondere der Grasanteil, durch den einsetzenden Wassermangel aus, ist also nicht photosyntheseaktiv. Dadurch verändert sich das Spektrum der Vegetation signifikant. Auch nimmt ihre Dichte und damit der Vegetationsanteil im Pixel ab. Damit weist die Vegetationsstruktur innerhalb eines Pixels während des jahreszeitlichen Verlaufs eine hohe Dynamik auf. In der Trockenperiode kommt es häufig zu natürlichen oder von Menschen gelegten Feuern, die den wesentlichen Anteil der Grasfläche verbrennen, so dass die Landoberfläche durch eine unterschiedliche schwarze und weiße Ascheschicht gekennzeichnet ist (LANDMANN 2005). Die Asche weist eine starke spektrale Ähnlichkeit mit tiefen Gewässern auf. Nach der Erosion dieser Ascheschicht ist für einen kurzen Zeitraum nahezu vollkommen nackter Boden sichtbar, bevor während der nächsten Regenzeit wieder neue Vegetation wächst. Wälder nach LCCS (*Land Cover Classification System*; entwickelt von der UN Food and Agricultural Organization) mit einer Baumdichte von über 65 % treten – wegen des dor-

tigen nahezu konstanten Wasserangebots – im Untersuchungsgebiet ausschließlich in Flussnähe als Galeriewälder auf. Sie sind ganzjährig photosyntheseaktiv und werden durch Savannenfeuer meist nicht verbrannt. Die Region außerhalb des Parks besteht hauptsächlich aus Ackerflächen, welche mittels Brandrodung gewonnen werden. Dabei sind fast alle Parzellen kleiner als 2 ha, wodurch eine sehr feinkalig fragmentierte Landbedeckung entsteht. Das Untersuchungsgebiet weist kein nennenswertes Relief auf. Im Jahresverlauf treten atmosphärische Störungen primär durch Wasserdampf bis hin zur Wolkenbildung oder durch Staubteilchen (Wüstenwinde) auf.

Die Grundlage dieser Studie bildet ein radiometrisch und geometrisch kalibrierter Level-1B-Datensatz des Satelliten-Aufnahmesystems ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* – ABRAMS & HOOK 1999). Dabei sind die Kanäle des sichtbaren Lichts sowie des nahen und mittleren Infrarots als Eingangsparmeter des Modells verwendet worden (siehe Tab. 1). Der Zeitpunkt der Satellitenaufnahme war gegen 10.30 Uhr Ortszeit des 17. Novembers 2006. Zu diesem Zeitpunkt hat die Vertrocknung der Vegetation noch nicht eingesetzt.

5 Ergebnisse und Diskussion

Das Modell wurde mit der zuvor beschriebenen ASTER-Szene getestet. Bisherige

Tab. 1: Verwendete Kanäle des Satelliten-Aufnahmesystems ASTER (nach ABRAMS & HOOK 1999).

spektraler Bereich	Kanalnummer	spektrale Auflösung (µm)	räumliche Auflösung	radiometrische Auflösung
VNIR	1	0,52 – 0,60	15 m	8 bit
	2	0,63 – 0,69		
	3N	0,78 – 0,86		
SWIR	4	1,600 – 1,700	30 m	8 bit
	5	2,145 – 2,185		
	6	2,185 – 2,225		
	7	2,235 – 2,285		
	8	2,295 – 2,365		
	9	2,360 – 2,430		

Studien pixelbasierter linearer spektraler Entmischung haben gezeigt, dass Modelle auf der Basis korrekter Endmemberanzahlen die höchsten Genauigkeiten aufweisen (ROBERTS et al. 1998). Wird eine zu geringe Endmemberzahl zu Grunde gelegt, wird der Anteil von nicht modellierten *Endmembers* auf die modellierten und auf die Residuen aufaddiert. Bei zu vielen *Endmembers* wird das Modell anfällig für Sensorrauschen und die natürliche Variabilität der Spektren, so dass Anteile der Residuen fälschlicherweise als Endmemberanteile modelliert werden und die Genauigkeit des Ergebnisses zu optimistisch geschätzt wird (ROBERTS et al. 1998). In semiariden nicht-urbanen Räumen haben sich bei der pixelbasierten Abschätzung Modelle mit drei *Endmembers* pro Pixel als hinreichend genau herausgestellt (OKIN et al. 1999). Diese Anzahl wurde auch hier für jedes einzelne Pixelfenster zu Grunde gelegt. Die Näherungswerte der Spektren wurden aus vom USGS zur Verfügung gestellten spektralen Bibliotheken abgeleitet. Sie umfassen sowohl mittlere Spektren von grüner und trockener Vegetation als auch von lehmigem Boden. Da es sich dabei um *surface reflectance*-Spektren handelt, wurde das Satellitenbild in der Vorverarbeitung mit Hilfe der am DLR entwickelten Software ATCOR2 (RICHTER 2007) atmosphärenkorrigiert. Mangels flächendeckender Klimadaten sind in diese Korrektur nur die Aufnahmegeometrie und Sensorspezifikationen eingegangen, was zu einer invariablen Aerosol-Abschätzung geführt hat. Die Spektralbibliotheken beschränken sich auf Spektren im sichtbaren Bereich und nahem bis mittlerem Infrarot. Deshalb sind nur die entsprechenden neun Kanäle des ASTER-Datensatzes in das Modell eingeflossen. Als ein weiteres unbekanntes *Endmember* muss Schatten angesehen werden. Dessen Spektrum ist nicht experimentell bestimmbar, da Schatten immer an ein Hintergrundspektrum gekoppelt ist. Gemäß aktueller Standards (z. B. LU & WENG 2004) wurden die Näherungswerte für Schatten wegen dessen Ähnlichkeit mit dem Spektrum von tiefem, klarem Wasser gleichgesetzt.

Die einzelnen Pixelfenster erstrecken sich hier über eine Größe von 4x4 Pixel, welche in allen neun Kanälen mit einem *nearest neighbour*-Ansatz auf eine geometrische Auflösung von 15 m Kantenlänge reskaliert wurden. Damit kommen 144 Beobachtungen (16 Pixel à 9 Kanäle) auf 53 Unbekannte: 21 unbekannte Parameter für die Richtungsvektoren und pro Pixel zwei unbekannte Faktoren zur Koordinatenbestimmung im Unterraum. Mit dem Modell konnten die Richtungsvektoren 10 verschiedener dreidimensionaler Unterräume voneinander getrennt werden. Die Anzahl aller möglichen Unterräume, die von einer bestimmten Menge von *Endmembers* aufgespannt werden, kann als Kombination ohne Wiederholung ermittelt werden. Nach Gleichung 9 wird aus der hier bekannten Anzahl der Unterräume zurück auf die Menge der *Endmember* geschlossen. Bei drei *Endmembers* pro Pixel können im Bild insgesamt 5 potentielle *Endmembers* ausgemacht werden (Gleichung 9, x entspricht der Anzahl der Lösungen).

$$\binom{x}{3} = \frac{x!}{(x-3)! \cdot 3!} = 10 \rightarrow x = 5 \quad (9)$$

Bei vier dieser Lösungen handelt es sich um verbesserte Spektren der eingeflossenen Näherungswerte, die visuell durch Vergleich der Lagen der Schnittpunkte und der konvexen Hülle ermittelt wurden. Die fünfte Lösung ist kein Bestandteil des konvexen Polygons um die Bilddaten. Sie ist deshalb nicht linear unabhängig von den anderen vier Lösungen und würde im abschließenden MESMA-Ansatz ein nicht eindeutiges Ergebnis produzieren. In diesen Ansatz gingen deshalb nur die vier *Endmember* ein. Diese sind trockene und photosyntheseaktive Vegetation, kahler Boden sowie Schatten.

Für eine erste Beurteilung der neuen Methode wurde für denselben Datensatz eine spektrale Entmischung mit dem herkömmlichen MESMA-Modell berechnet. Die dafür notwendigen Endmemberspektren wurden aus den vom USGS zur Verfügung gestellten Datenbanken entnommen. Wie

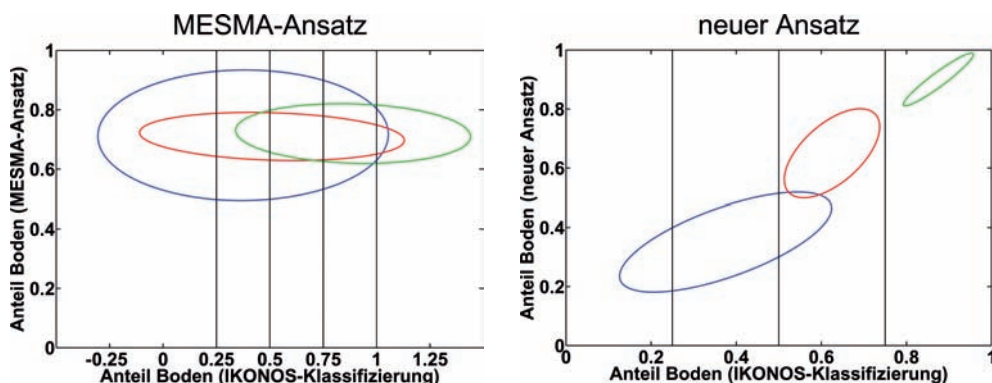


Abb. 5: 95 %-Konfidenzellipsen aus verschiedenen Wertebereichen (blaue Ellipse: 25–50 %, rot: 50–75 % und grün: 75–100 %) der aus der IKONOS-Klassifizierung reskalierten Bodenanteile der ASTER-Pixel und den Bodenanteilen ermittelt aus den MESMA-Ansatz (links) bzw. dem Modell der spektralen Entmischung ohne genaue Endmemberspektren (rechts).

oben beschrieben, existieren zwischen Pflanzen aus humiden und semi-ariden Regionen signifikante spektrale Unterschiede, was zwangsläufig zu erhöhten Residuen im MESMA-Modell führt. Als Referenzdaten wurde eine unüberwachte Klassifizierung eines IKONOS-Datensatzes mit einer geometrischen Auflösung von einem Meter verwendet. Die daraus erhaltenen Klassen decken sich nicht mit der Definition der *Endmember*. Deshalb konnten in einem ersten Schritt nur die Anteile von *Endmembers* überprüft werden, die auch einem in der IKONOS-Klassifizierung gefundenen Oberflächentyp entsprechen. In diesem Beispiel trifft das nur auf kahlen Boden zu. Die als Boden klassifizierten Pixel des IKONOS-Datensatzes sind mittels Gauß-Filter auf die 15 m-Auflösung der ASTER-Szene reskaliert worden. Anschließend wurden verschiedene Wertebereiche der aus den IKONOS-Daten abgeleiteten Bodenanteile mit den Anteilen aus den spektralen Entmischungen verglichen. Abb. 5 zeigt 95 %-Konfidenzellipsen der unterschiedlichen Wertebereiche sowohl des hier vorgestellten neuen als auch des herkömmlichen MESMA-Ansatzes.

Wegen ungenauer Spektren werden im herkömmlichen Ansatz die Anteile von nacktem Boden zu Lasten anderer *Endmember* stark überschätzt. Des Weiteren ist die Streuung der Bodenanteile viel höher als

beim neuen, hier vorgestellten Ansatz. Bei beiden Modellen sind die Konfidenzellipsen der Wertebereiche von 25–50 % aus der IKONOS-Klassifizierung viel größer als die anderen. Das beruht auf dem Nachteil der Klassifikation, jedem Pixel nur einen Wert zuweisen zu können. Klassen wie z. B. „trockene“ nicht photosynthese-aktive Vegetation bestehen auch zu einem bestimmten Teil aus nacktem Boden. Ergibt die Reskalierung der IKONOS-Klassifikation nur einen geringen Bodenanteil, können die restlichen Pixel z. B. aus trockener Vegetation bestehen. Deren Bodenanteil wird bei der Klassifikation ignoriert, nicht aber bei der spektralen Entmischung. Je mehr Bodenanteil aus der IKONOS-Klassifikation ermittelt wird, desto weniger Einfluss nehmen andere Klassen mit Subpixelanteilen von nacktem Boden auf die Genauigkeit.

Zusammenfassend lassen sich mit dem hier vorgestellten Ansatz höhere Genauigkeiten als mit herkömmlichen Entmischungsverfahren erreichen, wenn die verwendeten Spektralbibliotheken Ungenauigkeiten aufweisen.

6 Ausblick

Der in diesem Artikel vorgestellte neue Ansatz zur spektralen Entmischung liefert für einen ersten Testdatensatz sehr gute Ergebnisse. Inwieweit sie repräsentativ sind, ist an-

hand weiterer Daten und vor allem anhand der Verschneidung verschiedener Endmemberkombinationen mit Oberflächenklassen zu untersuchen. Da die Parametrisierung der Unterräume (Gleichung 6) nicht eindeutig ist, muss ebenso eine etwaige Auswirkung der Parameterwahl auf die numerische Stabilität des Verfahrens geklärt werden. In diesem Zusammenhang müssen auch die Anforderungen an die Genauigkeit der Näherungsspektren untersucht werden, damit sie zu den korrekten Unterraumparametern konvergieren.

Als nächster Schritt soll eine Transferfunktion ermittelt werden, die anhand von Referenzdaten eine Übertragbarkeit der Endmemberanteile in einem Pixel auf funktionale Vegetationsanteile ermöglicht. Dabei soll – wie für das Projekt BIOTA vorgesehen – eine Trennung der photosyntheseaktiven Vegetation in Gras- und Holzvegetation sowie eine empirische Überprüfung der Ergebnisse des neuen Ansatzes im Vordergrund stehen.

Literatur

- ABRAMS, M. & HOOK, S., 1999: ASTER User handbook, Version 2. – NASA / Jet Propulsion Laboratory, Pasadena.
- ASNER, G.P. & HEIDEBRECHT, K.B., 2002: Spectral unmixing of vegetation, soil and dry carbon cover in arid regions. – *International Journal of Remote Sensing* **23** (19): 3939–3958.
- BÄHR, H.-P., 1982: Abschätzung einiger geometrischer Fehlerkomponenten bei der multispektralen Klassifizierung. – *Bildmessung und Luftbildwesen* **52** (1): 23–29.
- CORD, A., 2007: Classifying Land Cover using FAO-LCCS Standards in a Tree Savannah of Burkina Faso with ASTER and IKONOS Data. – Unveröffentlichte Diplomarbeit, Universität Würzburg.
- GRUNINGER, J., RATKOWSKI, A.J. & HOKE, M.L., 2004: The Sequential Maximum Angle Convex Cone (SMACC) Endmember Model. – In: SHEN, S.S., LEWIS, P.E. (Eds.): *Algorithms and Technologies for Multispectral, Hyperspectral, and Ultraspectral Imagery X*, SPIE Proceedings **5425-1**: 1–14.
- HOBBS, S.E. & THOMAS, G., 1996: A goodness-of-fit measure applied to spectral mixture modeling. – In: BLACKLEDGE, J. (Ed.): *Image Processing: Mathematical Methods and Applications*. – Oxford University Press: 317–331.
- KOCH A. & HEIPKE C., 2006: Semantically correct 2.5D GIS data – The integration of a DTM and topographic vector data. – *ISPRS Journal for Photogrammetry and Remote Sensing* **61** (1): 23–32.
- LANDMANN, T., 2005: Estimating fire severity from remote sensing information for experimental fires in the Kruger National Park (KNP). – *South African Journal of Sciences* **99**: 357–360.
- LOVELOCK, C.E. & ROBINSON, S.A., 2002: Surface reflectance properties of Antarctic moss and their relationship to plant species, pigment composition and photosynthetic function. – *Plant, Cell and Environment* **25** (10): 1239–1250.
- LU, D. & WENG, Q., 2004: Spectral Mixture Analysis of the Urban Landscape in Indianapolis with Landsat ETM+ Imagery. – *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* **70** (9): 1053–1062.
- MicroImages Inc., 2007: Pixel Purity Index and Masking Aid Endmember Selection. – Stand: 2008-04-03, www.microimages.com/documentation/cplates/61Ppi.pdf.
- NAGENDRA, H., 2001: Using Remote Sensing to assess biodiversity. – *International Journal of Remote Sensing* **22** (12): 2377–2400.
- NIEMEIER, W., 2001: Ausgleichsrechnung. – Verlag Walter de Gruyter, Berlin, Germany.
- OKIN, W.J., OKIN, G.S., ROBERTS, D.A. & MURRAY, B., 1999: Multiple Endmember Spectral Mixture Analysis: Endmember Choice in an arid Shrubland. – In: GREEN, R.O.: *The 1999 AVIRIS Workshop*, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena: 323–322.
- PEDDLE, D.R. & SMITH, A.M., 2005: Spectral mixture analysis of agricultural crops: endmember validation and biophysical estimation in potato plots. – *International Journal of Remote Sensing* **26** (22): 4959–4979.
- RICHTER, R., 2007: Atmospheric / Topographic Correction for Satellite Imagery, ATCOR-2/3 User Guide, Version 6.3. – DLR-IB 565-01/07, Wessling.
- ROBERTS, D.A., GARDNER, M., CHURCH, R., USTIN, S., SCHEER, G. & GREEN, R.O., 1998: Mapping Chaparral in the Santa Monica Mountains Using Multiple Endmember Spectral Mixture Models. – *Remote Sensing of Environment* **65**: 267–279.
- THESEIRA, M.A., THOMAS, G. & SANNIER, C.A.D., 2002: An evaluation of spectral mixture modelling applied to a semi-arid environ-

ment. – International Journal of Remote Sensing **23** (4): 687–700.
USGS, 2007: USGS Digital Spectral Library. –
speclab.cr.usgs.gov/spectral-lib.html (3. April
2008)

Dr.-Ing. PETER LOHMANN, Prof. Dr.-Ing. CHRISTIAN HEIPKE, Leibniz Universität Hannover, Institut für Photogrammetrie und GeoInformation (IPI), D-30167 Hannover, Tel.: +49-511-762-2486/-2482, Fax: +49-511-762-2483, e-mail: lohmann, heipke@ipi.uni-hannover.de

Anschriften der Autoren:

Dipl.-Ing. MATTHIAS SCHRAMM, Dr. TOBIAS LANDMANN, Universität Würzburg, Geographisches Institut, DLR-Stiftungslehrstuhl für Fernerkundung, D-97074 Würzburg, Tel.: +49-931-888-4794/-4796, Fax: +49-931-888-4961, e-mail: Matthias.Schramm, Tobias.Landmann@uni-wuerzburg.de

Manuskript eingereicht: April 2008
Angenommen: Juni 2008

De-generalization of Japanese Road Data Using Satellite Imagery¹

HIDENORI FUJIMURA, Tsukuba; MARCEL ZIEMS & CHRISTIAN HEIPKE, Hannover

Keywords: Reversal of cartographic generalization, roads, gray value profiles, supervised classification, support vector machine, experimental test

Summary: This paper focuses on the elimination of displacement due to cartographic generalization inherent in road data of the Japanese national topographic dataset NTIS. Panchromatic satellite imagery from ALOS PRISM is used for this task. The developed method is based on histogram analysis of gray value profiles parallel to the roads. The true-position candidate is selected using a supervised classification of the histograms based on support vector machines. Experiments with the Japanese NTIS road database show, that the proposed method reverses the displacement of approximately 50% of the road features, while a further 20% of the road features are validated as being located in the true position. Further experiments with the German ATKIS road database also yield very good results, which shows that the proposed method can be transferred across different geographic regions.

Zusammenfassung: *De-Generalisierung japanischer Straßendaten mit Hilfe von Satellitenbildern.* Dieser Artikel beschäftigt sich mit der Bestimmung und Berücksichtigung von Verschiebungen durch kartographische Generalisierung für Straßendaten der japanischen topographischen Datenbasis NTIS mit Hilfe panchromatischer Satellitenbilder von ALOS PRISM. Die entwickelte Methode beruht auf einer Histogrammanalyse von Grauwertprofilen parallel zu den Straßen. Die tatsächliche Lage der Straße im Bild wird durch eine überwachte Klassifikation der Histogramme mittels einer Support Vector Machine bestimmt. Untersuchungen mit der japanischen NTIS Straßendatenbank haben ergeben, dass die vorgeschlagene Methode für ca. 50% der Straßen eine korrekte Verschiebung der Daten bestimmen kann, dazu kommen ca. 20%, für die keine Verschiebung notwendig ist. Weitere Experimente mit ATKIS Daten zeigen ebenfalls gute Ergebnisse und demonstrieren die Übertragbarkeit in andere geographische Räume.

1 Introduction

In many countries digital landscape models (DLM) of the national mapping agencies provide a fundamental positional reference for a multitude of tasks related to geospatial information. The quality of this positional information is thus of prime importance. The DLM have usually been set up based

on the requirements of a topographic map of similar content. Recently, independent sources of positional information, such as the Global Positioning System (GPS), which inherently has a very high geometric accuracy, have gained in popularity and are being used today for many applications such as car navigation. In order to provide the user of a DLM with the possibility to overlay his GPS data with the DLM and derive meaningful conclusions, both need to be at the same level of geometric accuracy. To fulfill this requirement, it is essential in many cases to enhance the geometric accuracy of the existing DLM.

¹ This work has been carried out while the first author was a visiting scientist at the Institute of Photogrammetry and GeoInformation, Leibniz Universität Hannover. A prior version of this paper is published in the proceedings of the 2008 ISPRS Congress, held in Beijing in July 2008.

The Geographical Survey Institute (GSI), the national mapping agency of Japan, had digitized its topographic map data at a scale of 1:25 000 to generate a printing quality image database (SATO et al. 1995). The original drawings of the topographic maps were scanned and stored in raster form. After this raster-based system had been realized, all the data were vectorized and stored in vector form into a topographic map information system named NTIS (OHNO et al. 2002). As a result, both the raster data and the NTIS still contain generalization effects which stem from the topographic map.

According to the specification of the Japanese topographic map 1:25 000 in paper form, the geometrical accuracy of NTIS features is defined to be 12.5 m in general. The geometrical accuracy is allowed to be degraded down to 25 m in case of cartographic generalization. For the reasons explained above, the geometrical accuracy of the NTIS data needs to be improved.

For the task of removing cartographic generalization effects, information of additional data sources is necessary. For urban areas, conflation with existing larger scale vectors is possible and will achieve a high level of automation. Currently, the GSI investigates methods to merge these heterogeneous vector datasets.

This paper focuses on the automatic reversal of generalization in rural areas. For these regions topographic data with larger scale are rarely available. Hence, satellite imagery is used for comparison with the database information. For this project up-to-date imagery of the Advanced Land Observing Satellite (ALOS) acquired with the Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping (PRISM) was used.

Due to the importance of the road network for the users, and because the road network forms a geometric frame for all other features, this research aims at a reversal of feature displacement inherent in NTIS road features. For this task, an analysis based on histograms of profiles parallel to the road in the image data is suggested. The geometrical position and shape of each

NTIS road feature is considered as prior information.

The aim of the work is to develop a new method which can be used at GSI to process the whole NTIS database of Japan as automatically as possible in a time frame of approximately 12 months. This paper reports on results achieved for the described task. Japanese as well as German datasets were processed in order to demonstrate that the algorithm can be transferred across different regions in the world.

2 Related Work

In this section, a selection of existing approaches for updating and verification of existing road databases with a practical background is described. There are two aspects of major interest for us: Firstly, the way other authors incorporate existing prior information, secondly, the used road model and the subsequent handling of road features that do not conform to the model. The second aspect refers to the robustness with respect to practicability and a large-sized versatility which are more important for this project than a complete automation.

In early work BORDES et al. (1995) suggested to guide road extraction for the BDTopo of the French Institut Géographique National (IGN) by information from the less detailed BDCarto. The accuracy of the result is evaluated using a matching strategy between the two datasets. WIEDEMANN & MAYER (1996) check roads which are available in a database by investigating the gray value profiles perpendicular to the road axes.

A semi-automatic system for an enhancement of the Swedish road database based on a comparison with satellite imagery of SPOT and Landsat was described in (KLANG 1998). The approach detects the position of road junctions by different template matching methods in the image within a tolerance radius around the given position. Based on this result the nodes are used as seed points for an active contour model which is applied to every road feature of the database. Finally, a comparison of the ex-

traction result and the corresponding database object provides the human operator with a number of potential objects for the updating process. Thus, the extracted roads are not automatically included in the database. The system was extended in relation to the task of the National Topographic Database of Geomatics Canada (FORTIER et al. 2001). The enhanced quality of the extracted junctions was used to include the detected roads directly in the database and make the whole system fully automatic.

Another relevant project in our context is the Automated reconstruction of Topographic Objects from aerial images using vectorized Map Information (ATOMI) of Switzerland (ZHANG 2004). The approach makes extensive use of prior knowledge derived from the existing database, i.e. geometries and attributes as well as topological information of the given road network. Additionally, context information about local background objects is used to define an adaptive road model for urban and rural areas. The automatic analysis is realized using stereo color aerial images combined with DSM information. The road model is based on gray value gradients but uses also aspects of area classification to consider shadow and occlusion by context objects.

The WiPKA-QS project deals with the automatic quality control of the German authoritative topographic reference data set ATKIS-DLM and the MGCP (Multinational Geospatial Coproduction Program) dataset using aerial or satellite imagery (GERKE et al. 2004). Following the same main strategy as (KLANG 1998), only road features with high evidence for correctness are processed automatically. The used road model is mainly gradient based and is adapted by use of prior knowledge from the database similar to ZHANG (2004). WiPKA-QS allows for a speedup of about a factor of 3 as compared to manual quality control (BUSCH et al. 2004). More recent work in this project deals with analyzing histograms of road profiles to improve the performance (ZIEMS et al. 2007).

The use of active contour models e.g. (GRÜN, LI 1997) seems also to be applicable

for this task. Snakes are deformable objects and thus can adapt naturally to road features in image space. In general, however, snakes suffer from the need for a good initialization and thus require a relatively high number of seed points. BUTENUTH (2007, 2008) showed that the network topology can be used instead of accurate seed points and can overcome many limitations of traditional snakes. A precision improvement of the Japanese 1:25 000 vector data using snakes was already investigated (UETAKI et al. 2006). The algorithm achieves good performance in suburban and rural areas, but it is rather slow and needs high-resolution aerial imagery which is very costly.

3 Data Sources

3.1 Japanese NTIS/ALOS PRISM

As mentioned above the road data of the NTIS have a positional accuracy of 12.5 m. In case of cartographic generalization, the positional accuracy can degrade down to 25 m. An important property of the NTIS road features is that most of them are straight. Fig. 1 shows the number of polygon points for each road feature in our test site. As can be seen, nearly 50% of the road features are represented with only two points. From experience we know that this is a consequence of the fact that also the actual roads in object space in a typical Ja-

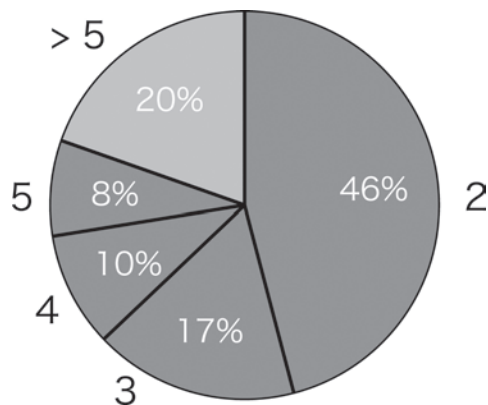


Fig. 1: Number of points in each road features in our test site (50.8 km², rural area).



Fig. 2: Typical differences of ALOS PRISM imagery and NTIS road features (light blue).

panese rural area are mostly straight, and not a result of simplification as part of the cartographic generalization.

Fig. 2 shows an ALOS PRISM image superimposed with NTIS road features. ALOS PRISM is a 2.5m resolution panchromatic sensor with a ground coverage of 35 x 35 km². An ortho-rectified image is used in our study. The horizontal positional accuracy of the georeferenced images is said to be around 2.5m (MIZUTA et al. 2007). Clear differences in geometry due to feature displacement can be observed in Fig. 2.

3.2 German ATKIS/IKONOS

To check the transferability of the developed method on the one hand and to gain an additional option to evaluate on the other hand, a second set of data sources was considered in our work. This set consists of IKONOS ortho-rectified images and a road database, which is derived from the Digital Landscape Model (DLM) of the German Authorative Topographic Cartographic Information System (ATKIS). The main difference to the first set (NTIS and ALOS PRISM) is that ATKIS DLM road features have a geometric accuracy of 3m and have not been subject to cartographic generalization. Consequently, there is no direct demand for detecting a shift of ATKIS DLM road features. However, the quality of the proposed algorithm can be measured, because we can utilize the validated database information for external evaluation. This second dataset is also aimed at investigating

the applicability of the proposed method to images of a higher resolution.

The available IKONOS scenes consist of one panchromatic and four spectral bands. For our investigation, pan-sharpened images with a ground resolution of 1m were used. The imagery contains three different German regions called Hildesheim, Weiterstadt and Ulm. The images show dissimilarities in seasonal date and terrain type.

4 Methods

4.1 Model Selection

There are two main decisions to be taken in order to solve the stated problem: (a) a model for cartographic generalization of the road features and (b) a model for roads to be extracted from images must be selected. Both models can also be combined, e. g. in a snakes-based approach. Although snakes have a number of attractive properties (see above), they were judged to be too complicated and too slow for our aims, and the fact that snakes can deform during processing was though not to be necessary in rural Japan.

Observing the fact that most roads of interest are straight, we use a shift perpendicular to the road direction to model cartographic generalization. This model is local and very simple, which makes it attractive from a practical point of view. In some cases, however, it will not be sufficiently detailed, and the topology at nodes will in general be destroyed, as different edges will be shifted in different directions. Since road topology is one of the major points to be preserved, a post-processing step was designed: the one-dimensional shifts of all edges incident to a node are considered to derive the final two-dimensional node shift. The shifted nodes are then topologically connected in the same way as before. While there may be extreme cases where edges start crossing each other due to erroneously large shifts, in most cases the topology does not change, when applying the described method.

The second issue is the extraction of road features from the image. As was discussed in section 2 a number of approaches have been suggested for this task, many of them use prior database knowledge (the road feature position, direction, length, width etc.) and consider the road to be a line. While we also use the information from the database, we suggest an alternative method and model for road feature extraction. We look at different gray value profiles parallel to the database road feature in a buffer of a certain width, this width being related to the geometric accuracy of the database and the amount of potential cartographic generalization. Given an appropriate distance between the profiles one of them describes the road, while the others lie to the left and to the right of the road and contain gray values of the road neighborhood. Our task then is to select the profile belonging to the road; the problem can be solved by classifying all profiles into the two classes *road* and *non-road*.

In this way we turn the feature extraction into a classification problem and after defining an appropriate feature space we can thus use classification algorithms of remote sensing and pattern recognition. We selected the support vector machine (SVM) classifier, as it has proven to be a very successful algorithm (e. g. VAPNIK 1998, see also MALLETT et al. 2008). The open-source SVM library LIBSVM (CHANG & LIN 2001) was used for all computations. Instead of outputting the label of the class, the SVM is set to output the estimated confidence to belong to the class (see WU et al. 2004 for details).

When looking at the gray value profile we define a road as follows: (a) the road has a profile histogram which is dissimilar to those of all its neighbors, while the neighboring histograms share some similarity among each other. Note, that while we thus require a certain degree of internal homogeneity of the left and the right neighborhood, the two neighborhoods do not need to be similar; (b) the road surface is homogeneous, thus gray values of the road profile are similar and the average can be coded with a low entropy. Also, the average is as-

sumed to be different from that of the surroundings. While this definition is generally satisfied in rural areas, it is not valid in urban scenes, where the profile histogram of a road may be rather inhomogeneous due to various disturbances (vehicles, shadows etc.), and the neighborhoods may also be inhomogeneous, e. g. due to different buildings. However, as our algorithm should primarily work in rural areas, these limitations are less relevant for our work.

4.2 Pre-Processing

A major prerequisite of the suggested approach is that the database information is used to define the approximate position and shape of every road feature in the image. The NTIS database contains a number of short connected road features which belong to one and the same straight road. In a first step these short features are linked based on their direction. The reason is that the histograms, which are generated from such short features, are not representative and thus not reliable enough. Our experience has shown that we need road features with a length of at least 60 pixels.

In the NTIS database we used for evaluation, such short features make up 28% of the road features and as mentioned most of them are linked to longer roads. In the test area in Germany only 5% of the road features are subject to preprocessing.

4.3 Road Detection by Histogram Classification

Overview

Fig. 3 shows the idea of histogram analysis of the proposed algorithm. The different profiles and the related histograms of a short part of a road feature can be seen, the actual road shows a shift of 7.5 m to the left of the database road depicted at a shift value of 0. The main algorithm is described in the following:

1. Create candidates for road features in approximate positions by use of database

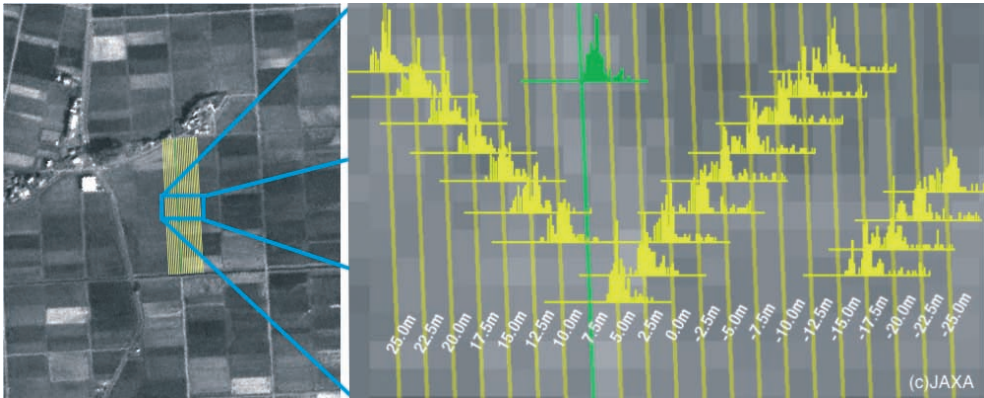


Fig. 3: Idea underlying the proposed algorithm: for one road feature (left), the different profiles and the resulting gray value histograms are depicted. As can be seen the green histogram representing the road is distinctly different from the neighboring histograms. As compared to the position of the database road at shift = 0, the road feature in the image is located 7.5 m to the left.

- information. Candidates are generated in a buffer parallel to the line connecting the start and the end point of the database road. The range of possible shifts is determined according to the accuracy specification of the database and potential displacements due to generalization. In this work, the range is set to -30 m to 30 m because the limit of the feature displacement is 25 m (see above). We included a 5 m margin on either side because we need some background area to separate roads from the background. The step size of the shift is determined considering the precision of data sources. In our work, the step size is 2.5 m or one pixel. Therefore, we obtain 25 candidates for each given road feature.
2. Calculate the histogram of line pixels belonging to each candidate profile. Road width attributes are considered when available by defining the width of the region for which the histogram is calculated.
 3. Calculate a feature vector for each candidate profile, as explained below, from the histograms.
 4. Determine for a small number of road features the shifts manually and use these features to train the support vector machine classifier used in this study.
 5. Classify all histograms using the SVM.
 6. Choose the actual road features from the output of SVM.
- ### Feature Vector
- The feature vector consists of a number of features which were chosen to differentiate the road from the surroundings. All features are calculated from the normalized histogram $H_s(g)$ where s is the shift and g is the gray value. The components of the feature vector are:
1. ‘Sum of similarity of histograms (SSH)’ between one histogram s and all other histograms t in the neighborhood. The histogram similarity is expressed using the Bhattacharyya distance $BC(H_1, H_2)$ (BHATTACHARYYA, 1943; FUKUNAGA 1990):
- $$SSH(s) = \sum_{t=-S}^s (1 - \delta_{s,t}) BC;$$
- $$BC = \sum_{g \in G} \sqrt{H_s(g) \cdot H_t(g)} \quad (1)$$
- where δ denotes the Dirac function. Fig. 4 explains the idea of SSH, an example is shown Fig. 5: In a typical rural Japanese landscape, the SSH steeply decreases from around 20 to less than 10 when the histogram $H_s(g)$ describes a road feature.

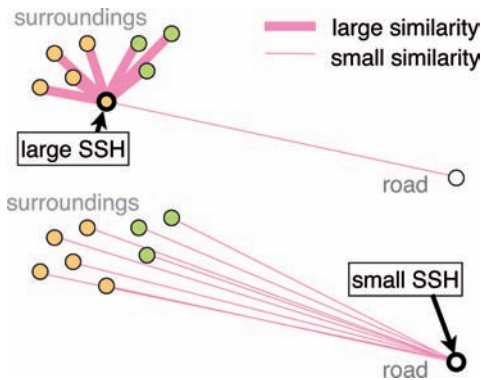


Fig. 4: Explanation of SSH: histograms with many similar partners have a large SSH while seldom histograms (such as those of road features) have a small SSH.

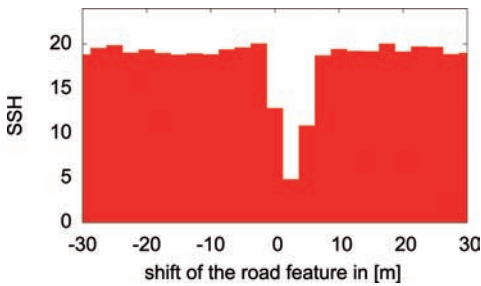


Fig. 5: A plot of SSH, a road is situated at a shift of 2.5 m.

2. Average brightness $M(s)$ along the profile:

$$M(s) = \sum_{g \in G} g \cdot H_s(g) \tag{2}$$

This feature is chosen due to the fact that the average gray value of the road and the surroundings are assumed to be different. The average was normalized by dividing it by 256, as the radiometric resolution of the image was 8 bit.

3. Entropy of the histogram:

$$E(s) = - \sum_{g \in G} H_s(g) \cdot \log H_s(g) \tag{3}$$

This feature is chosen to include information about the texture. If the area is homogeneous as a road is assumed to be, the entropy will be low. The entropy was normalized by dividing it by 8 (the maxi-

imum entropy given the radiometric resolution of 8 bit).

4. Normalized rank, i.e. the index of the value in the sorted list of values for all 25 candidates, of the SSH. All rank values were normalized by dividing the actual rank by the number of candidate profiles.
5. Normalized rank of average gray value.
6. Normalized rank of the entropy.

We added the normalized rank of the first three feature vector components, because, according to our experience rank features significantly help in separating the two classes.

Consequently, six features are used for every available spectral band, i.e. in case of the PRISM imagery, these six features were taken into account, while for the IKONOS imagery with four spectral bands 24 features are used for classification. By normalizing all feature values to a range between 0 and 1, numerical problems in the following classification are minimized.

Shift Estimation

For every considered profile the output of the SVM is the value describing the confidence that the considered profile stems from a road feature; an example can be seen in Fig. 6. According to experience the maximum with a confidence value higher than a pre-defined threshold is chosen to estimate the shift. The confidence value is also used to assess the reliability of the estimated shift: if the detected maximum confidence value is too small or side maxima exist near the

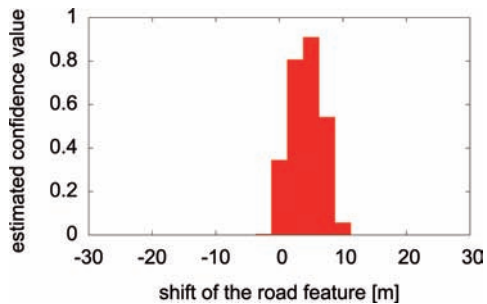


Fig. 6: Confidence values as a function of shift. In this example the computed shift is 5 m.

maximum, the shift estimation is labeled as unsuccessful. Possible reasons are that the cartographic generalization of the feature was more complex than a simple shift or that the assumed road model does not comply with the specific feature. In these cases, a human operator must interactively carry out the appropriate de-generalization of the road feature.

4.4 Adaptation to Database Topology

Because road features are shifted individually the (assumably correct) topology of the road network from the database is in general destroyed. Since a correct topology is obviously of major interest, e. g. for routing applications, post-processing to recover the topology of the road network is required.

We consider each node individually and compute the node shift using a weighted least-squares approach with the shifts of all road features incident to that node as observations. The discrepancies between the different individual shifts are then minimized, taking into account that each shift only contains information about the shift direction orthogonal to the road feature. The weights we use correspond to the confidence values computed before. The resulting shift is then applied to the node. Subsequently, a Helmert transform is computed for each road feature between two nodes (for straight features, this is equivalent to connecting the two shifted nodes by a straight line). In this way the topology is preserved locally, and only in rare cases, e. g. if the sequence of roads changes due to extremely different shifts of two neighboring nodes, the topology changes globally. In the test examples, this case did not show up. Therefore, for the time being we accept this inconsistency for reasons of algorithmic simplicity.

5 Results and Discussion

For the evaluation of the proposed method, reference datasets were manually extracted from the images. These datasets were supposed to be correct. For the Japanese test area we generated the reference dataset our-

selves, for the German test areas we used an independent dataset, obtained from the German Federal Agency for Cartography and Geodesy (BKG). This reference dataset was initially produced for evaluating the quality assessment system WiPKA-QS (GERKE et al. 2004).

5.1 Japanese NTIS Data

The necessary training data were collected in a small area of 4.5 km² in the image. The number of road features in the training set was 74. The trained model has a regression ratio of 99.4%.

Fig. 7 shows our results for the area depicted in Fig. 2. For road features in green the shift has been validated by the human operator, for the red ones no reliable result could be computed or the human operator found it to be incorrect. In comparison with Fig. 2 we can see that most road features are moved to the correct position. Tab. 1 shows the statistics of the result for the test site. Only 21% of the road features were found to be correct prior to the shift estimation. However, after applying the described algorithm, an additional 52% of the road features could be corrected. Only the remaining 27% of the road features have to be processed by a human operator.



Fig. 7: Result for NTIS data (green: correct, red: incorrect).

Tab. 1: Result for Japanese NTIS/PRISM in selected rural area (50.8 km², 569 road features).

correct without shift	21 %
correct after shift reversal	52 %
incorrect	27 %

Tab. 2: Reliability of the results (here, only the correct features of the first test were considered).

	system	correct shift
human operator		
accepted		97.6%
rejected		2.4%

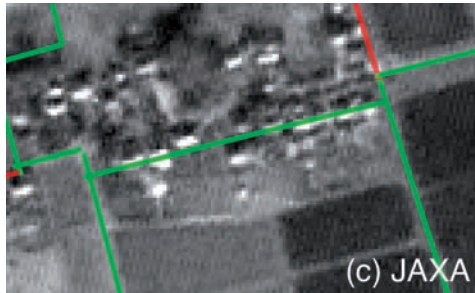


Fig. 8: false positive result: a row of buildings recognized as a road.

The reliability of the algorithm was checked in the following way: if a human operator could find a road feature at the place of the shifted road, the result was termed “accepted”, otherwise it was termed “rejected”. The result of this evaluation is shown in Tab. 2. Nearly 98% of the detected road features comply with the decision of the human operator, thus the success rate of the developed method is very high.

A typical false-positive decision is shown in Fig. 8. A row of buildings is recognized as a road. We will try to detect this error in the future by using building data and by applying an additional evaluation step, in which shifts of topologically connected road features are considered simultaneously.

5.2 German ATKIS Data

As mentioned above the additional test with the German ATKIS data was carried out to demonstrate that the developed algorithm can be transferred from one geographic region of the world to another one. Because ATKIS data were not subject to cartographic generalization, a different outcome is expected. For a correct road feature

from the database, the algorithm should choose the road candidate at a shift close to 0 with high confidence. Results with a large shift should be rejected and marked for interactive control.

The training data were generated from the reference dataset. The algorithm was tested with training data of various sizes to investigate the correlation between the training data size and the quality of the result. We processed roads and paths separately, because they are two separate features in the database and they can have a significantly different appearance in the image.

The upper half of Tab. 3 shows the evaluation for the complete Ulm test area (rolling terrain, spring season). Since the approach focuses on rural areas, settlement areas were not considered. The SVM was trained in a tile of $2 \times 2 \text{ km}^2$ with 209 features in the reference dataset. Both, road and path features, were included in the training data. The result shows that the algorithm detects 69.4% of the roads and 57.9% of the paths at the correct position.

For comparison, the SVM was also trained using the whole reference dataset; the result of this control experiment is shown in the lower half of Tab. 3. As can be seen, no major difference appears when the size of the training data is changed. Thus, a small training set is enough for the proposed algorithm.

Tab. 4 shows the evaluation for the scenes Hildesheim (flat terrain acquired in winter) and Weiterstadt (rolling terrain, spring season). For training the Ulm data ($2 \times 2 \text{ km}^2$) were used. The result is similar to the one for Ulm, which means that, at least in this case, the algorithm can successfully handle

Tab. 3: Evaluation for Ulm IKONOS scene (928 roads, 2886 paths).

training area	target feature	correct shift
$2 \times 2 \text{ km}^2$	roads	69.4%
	paths	57.9%
complete scene	roads	66.8%
	paths	60.0%

Tab. 4: Evaluation for IKONOS scenes of Hildesheim (283 roads, 615 paths) and Weiterstadt (155 roads, 1366 paths).

test area	target feature	correct shift
Hildesheim	roads	81.6%
	paths	74.0%
Weiterstadt	roads	65.1%
	paths	49.4%

scene changes. This characteristic is obviously advantageous when large areas are to be processed, as is the case in national mapping agencies.

6 Conclusions and Future Work

This paper shows that in rural areas we can distinguish roads from their surroundings using histograms of profiles parallel to the road axes extracted from a geospatial database which had been subject to cartographic generalization. For 70% of the roads the generalization effects could be reversed assuming a shift perpendicular to the road as generalization model. The SVM was found to be an effective tool for classifying the profiles into road and non-road features. The algorithm is run feature-by-feature and thus is a local method. The simplicity of local methods is advantageous in practice, because the task can be distributed to computers across the organization.

Currently, the algorithm is implemented in JRuby and run on a 2 GHz Intel Core 2 Duo with 2 GB RAM on Mac OSX. The processing speed is 0.7 second per feature, which means that it takes less than 2 hours to process one map sheet. The speed enables the use of this algorithm in production. In the near future, the algorithm will be installed at GSI, in a first step as an operator-assisted utility to signalize any unacceptably large inconsistency between vector data and the image.

In future work we will enhance the classification by reducing potential correlations between the features in the feature vector, in particular for multispectral images, e.g.

by using a principal component analysis as a further pre-processing step. We also note, that in general the effect of cartographic generalization does not only comprise parallel shift, though a parallel shift is dominant in the investigated dataset. The effect of other kind of generalization will be investigated, nevertheless, e.g. by revisiting the concept of network snakes. We will also implement constraints to ensure that shifts vary smoothly across neighboring features.

Acknowledgements

The stay of the first author at IPI was financially supported by the Japanese Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology. We gratefully acknowledge this support. The authors would also like to thank Karsten Jacobsen for his kind help with the evaluation of the ALOS PRISM images, and GSI and BKG for providing the test data.

References

- BHATTACHARYYA, A., 1943: On a measure of divergence between two statistical populations defined by probability distributions. – *Bull. Calcutta Math. Soc.* **35**: 99–109.
- BORDES, G., GIRAUDON, G. & JAMET, O., 1995: Road Extraction Guided by a Cartographic Database: Creating a Strategy. – In: *IEEE Workshop on Context-based Vision*: 30–37.
- BUSCH, A., GERKE, M., GRÜNREICH, D., HEIPKE, C., LIEDTKE, C.-E. & MÜLLER, S., 2004: Automated verification of a topographic reference dataset: System design and practical results. – *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* **35** (B2): 735–740.
- BUTENUTH, M., 2007: Segmentation of imagery using network snakes. – *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation* **2007** (1): 7–16.
- BUTENUTH, M., 2008: Topology-preserving network snakes. – *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and the Spatial Information Sciences* **37** (B3): in print.
- CHANG, C.-C. & LIN, C.-J., 2001: LIBSVM: a library for support vector machines. – www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm.
- FORTIER, M.A., ZIOU, D., ARMENAKIS, C. & WANG, S., 2001: Automated correction and up-

- dating of road databases from high-resolution imagery. – *Canadian Journal of Remote Sensing* **27** (1): 76–89.
- FUKUNAGA, K., 1990: Introduction to Statistical Pattern Recognition. – Academic Press, 2nd edition.
- GERKE, M., BUTENUTH, M., HEIPKE, C. & WILLRICH, F., 2004: Graph supported verification of road databases. – *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* **58** (3/4): 152–165.
- GRÜN, A. & LI, H. H., 1997: Semiautomatic Linear Feature-Extraction by Dynamic-Programming and LSB-Snakes. – *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* **63** (8): 985–995.
- KLANG, D., 1998: Automatic detection of changes in road databases using satellite imagery. – *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* **32** (4): 293–298.
- MALLET, C., BRÉTAR, F. & SÖRGE, U., 2008: Analysis of full-waveform lidar data for classification of urban areas. – *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation* **2008** (5): 337–348.
- MIZUTA, Y., SASAGAWA, A., KOIDO, K., URABE, B. & TANAKA, H., 2007: Validation on application of ALOS/PRISM to topographic mapping (in Japanese). – *Journal of the Geographical Survey Institute* **111**: 119–124.
- OHNO, H., MIZUTA, Y., NAKAMINAMI, K. & ISHII, T., 2002: The development of the new management system ‘NTIS’ for topographic map information. – *Bulletin of the GSI* **48**: 39–48.
- SATO, E., TAKITA, Y., ISHII, H. & TAKAHASHI, H., 1995: Computer aided map revision system for 1:25 000 topographic map (in Japanese). – *Journal of the Geographical Survey Institute* **82**: 16–25.
- UETAKI, G., UCHIMURA, K. & ZHENCHENG, H., 2006: Refining positions of road map using network active shape models. – *ISPJ Journal* **47** (12): 3079–3089.
- VAPNIK, V. N., 1998: *Statistical Learning Theory*. – New York: Wiley.
- WIEDEMANN, C. & MAYER, H., 1996: Automatic Verification of Roads in Digital Images Using Profiles. – *Mustererkennung 1996. Proceedings des 18. DAGM-Symposiums*. Springer, Heidelberg, Berlin, 609–618.
- WU, T.-F., LIN, C.-J. & WENG, R. C., 2004: Probability estimates for multiclass classification by pairwise coupling. – *Journal of Machine Learning Research* **5**: 975–1005.
- ZHANG, C., 2004: Towards an operational system for automated updating of road databases by integration of imagery and geodata. – *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* **58** (3/4): 166–186.
- ZIEMS, M., GERKE, M. & HEIPKE, C., 2007: Automatic road extraction from remote sensing imagery incorporating prior information and colour segmentation. – *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* **36** (3W49): 141–147.

Addresses of the Authors:

HIDENORI FUJIMURA, Geographical Survey Institute (GSI), Kitasato-1, Tsukuba-shi, Ibaraki-ken, 305-0811 Japan, e-mail: hfu@gsi.go.jp

Dipl.-Ing. MARCEL ZIEMS und Prof. Dr.-Ing. CHRISTIAN HEIPKE, Institut für Photogrammetrie und GeoInformation (IPI), Leibniz Universität Hannover, Nienburger Str. 1, 30167 Hannover, Tel.: +49-511-762-2482, Fax: +49-511-762-2483, e-mail: ziems, heipke@ipi.uni-hannover.de

Manuskript eingereicht: April 2008

Angenommen: Juni 2008

Automatic Extraction of Traffic Islands from Aerial Images

MEHDI RAVANBAKHS, KIAN PAKZAD & CHRISTIAN HEIPKE, Hannover

Keywords: Road junction, traffic island, level sets, aerial image

Summary: Road junctions are important components of a road network. However, they are usually not explicitly modelled in existing road extraction approaches. In this paper, we consider road junctions as area objects with possible existence of traffic islands in their central area and propose a level set approach for the automatic extraction of islands. A region-based method is employed to initialize the level set function. The junction outline is provided to focus the attention on a specific area and some constraints are introduced to distinguish islands from other features such as cars. The approach was tested using aerial images of 0.1 m ground sampling distance that depict suburban and rural areas. Test results are presented and discussed in this paper.

Zusammenfassung: *Automatische Erfassung von Verkehrsinseln aus Luftbildern.* Kreuzungen sind wichtige Komponenten eines Straßennetzes. Sie sind aber in aktuellen Straßenextraktionsansätzen in der Regel nicht explizit modelliert. In diesem Artikel beschreiben wir Kreuzungen als Flächenobjekte und schlagen einen Level-Set-Ansatz für die automatische Extraktion von Verkehrsinseln vor. Eine regionbasierte Methode wird verwendet, um die Level-Set-Funktion zu initialisieren. Die Kreuzungsaußenlinie wird als gegeben angesehen, sie dient dazu, den weiteren Ablauf auf den Kreuzungsbereich selbst zu konzentrieren. Darüber hinaus wurden einige Bedingungen eingeführt, um Verkehrsinseln von anderen Objekten wie Autos zu unterscheiden. Der Ansatz wurde anhand mehrerer Luftbilder mit einer Bodenauflösung von 0,1 m, die suburbane und ländliche Gebiete zeigen, getestet. Die Testergebnisse werden präsentiert und ausführlich diskutiert.

1 Introduction

Geospatial databases contain various man-made objects among which roads are of special importance as they are used in a variety of applications such as car navigation. Road junctions are important components of a road network. However, they are usually not explicitly modelled in existing road extraction approaches. Road junctions in road network extraction systems have mainly been modelled as point objects at which three or more road segments meet (GERKE 2006, ZHANG 2004, BARSİ et al. 2002, WIEDEMANN 2002, HINZ et al. 1999, HEIPKE et al. 1995). In contrast, in GAUTAMA et al. (2004), LAPTEV et al. (2000) and MAYER et al. (1998), junctions are treated as planar ob-

jects. This kind of modelling does not always reflect the required degree of detail obtainable in high resolution aerial images (cf. Fig. 1). A more detailed modelling of road junction is necessary for data acquisition in large scales.

In HEIPKE et al. (1995), a strategy to extract roads in two different scales is proposed. In the fine resolution, roads are modelled as area objects and in coarse resolution as line objects. Results from both resolutions are merged using a rule based system. To delineate the junction area, segments next to accepted road segments are recursively investigated for homogeneity of the adjacent area. LAPTEV et al. (2000) and MAYER et al. (1998) employ a snake model to delineate junctions, and GAUTAMA et al.

(2004) use a differential ridge detector in combination with a region growing operator to detect junctions.

However, none of the described approaches tried to model traffic islands, which often are present in the central area of junctions. Traffic islands are important components in traffic management and car navigation systems. In particular, future car navigation systems require detailed and accurate topographic information. Therefore, traffic islands should be included in a detailed topographic database. Since some junctions contain islands in their centre, a detailed junction model needs to consider the possible existence of small islands.

A road junction can contain several small islands located in its central area. The number of islands varies in different junctions depending on the number of crossing roads and the functionality of the junction. Traffic islands may be of diverse geometrical shape. Furthermore, they may be partially occluded by shadows from traffic lights, traffic signs, vehicles and trees. These properties imply that the extraction of islands is a challenging problem of aerial image analysis.

In this paper, we attempt to model traffic islands in rural and suburban areas and use a method based on level sets for their automatic extraction. The junction outline is used as input to focus the attention on a limited area. Furthermore, some geometric and topological constraints are defined to distinguish islands from other features. In

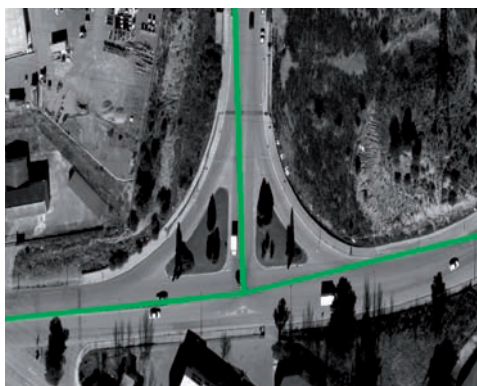


Fig. 1: Superimposition of vector data on a high resolution aerial image.

Section 2 a short review of level sets is given. The individual steps of the proposed strategy are described in Section 3. In Section 4, results using aerial grey level imagery of 0.1 m ground sampling distance are presented and evaluated. The paper concludes with a discussion of the reached state and an outlook for future work.

2 Level Sets

Level sets share many properties with snakes. *Snakes* (KASS et al. 1988) have emerged as a powerful tool for semi-automated object modeling. They are especially useful for delineating objects like traffic islands that are difficult to model with rigid geometric primitives. Snakes are represented as explicit, parametric contours. As a result, they do not allow for automatic changes of topology. Thus, the simultaneous extraction of a priori unknown number of objects, which require such a change of topology during the extraction process, is not straightforward. Several approaches were proposed to address this problem (MCINERNEY & TERZOPOULOS 1995, SZELISKI et al. 1993). They proposed heuristic procedures for detecting possible splitting and merging of the initial contour. In contrast, *level sets* (OSHER & SETHIAN 1988) allow for splitting and merging in a natural way and are thus more suited to solve our problem.

The core idea of level sets is to implicitly represent a contour C as the zero level curve of a function ϕ of higher dimension. Such an implicit representation allows for the de-

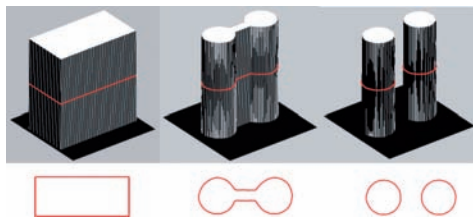


Fig. 2: Natural change of topology in the level set framework. The top row presents the evolution of the embedding function ϕ over three iterations and the zero level curve C (red line); the bottom row shows a 2D representation of C .

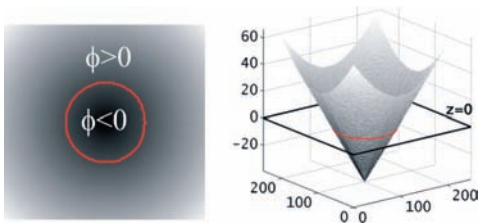


Fig. 3: Illustrating level sets. (a) The curve C (red) is used to construct the level set function ϕ such that ϕ is negative inside and positive outside the curve. Distance values d are grey value coded. (b) A plane at zero level ($Z = 0$) intersects the level function ϕ , and thus the zero level curve C is obtained.

sired topological changes of the contour during the evolution of the level set function ϕ (cf. Fig. 2).

An initialisation of ϕ can be constructed in the following way: Let C be a closed curve representing the boundary between two regions, one region inside the curve and another region outside the curve. ϕ is then defined as the signed distance $\pm d(x)$ to the curve, negative inside and positive outside (cf. Fig. 3 a & b).

The definition is illustrated:

$$\phi(x) = \begin{cases} -d(x) & \text{if } x \text{ is inside } C \\ +d(x) & \text{if } x \text{ is outside } C \end{cases} \quad (1)$$

While the use of the distance $d(x)$ is not mandatory when using level sets, it assures that ϕ does not become too flat or too steep near C and subsequently can be differentiated across the zero level curve without running into numerical problems.

In order to combine the characteristics of the level set function and the image information, an energy functional consisting of an internal energy term (smoothness term) and an external energy term (data term) can be set up and consequently minimised using the calculus of variations, similar to the approach used for snakes. The internal energy term penalizes the deviation of the level set function from a signed distance function, whereas the external energy term drives the motion of the zero level curve to the desired image features such as an object boundary.

In this paper, we use a level set formulation that forces the level set function to be close to a signed distance function throughout the evolution. It was shown that a signed distance function must satisfy the property of $|\nabla \phi| = 1$ (OSHER & FEDKIW 2002). Therefore, the following formula was proposed as the internal energy term (LI et al. 2005):

$$P(\phi) = \int_{\Omega} \frac{1}{2} (|\nabla \phi| - 1)^2 dx dy \quad (2)$$

$P(\phi)$ is a metric to characterize how close a function ϕ is to a signed distance function in a specified computational domain $\Omega \subset R^2$.

In order to derive the external energy let I be an image, and g be the *edge indicator function* defined by

$$g = \frac{1}{1 + |\nabla G_{\sigma} * I|^2} \quad (3)$$

where G_{σ} is the Gaussian kernel with standard deviation σ , and ∇ denotes the gradient operator. Thus, in image areas with large gradients g is small and vice versa. The external energy $E_m(\phi)$ can then be defined as

$$E_m(\phi) = \lambda L_g(\phi) + \nu A_g(\phi) \quad (4)$$

where $\lambda > 0$ and ν is a constant.

$L_g(\phi)$ is a length term obtained by taking the *surface integral* (line in R^2) of the function g over the curve C :

$$L_g(\phi) = \int_{\Omega} g \delta(\phi) |\nabla \phi| dx dy \quad (5)$$

where δ denotes the univariate Dirac delta function. It can be thought of as a function which is zero everywhere except at the origin, where it is infinity.

$$\delta(\phi) = \begin{cases} \infty & \text{if } \phi = 0 \\ 0 & \text{if } \phi \neq 0 \end{cases} \quad (6)$$

Since $\delta(\phi) = 0$ almost everywhere except at the zero level curve C , the energy functional $L_g(\phi)$ measures the total effect of g over the curve C . Thus, $L_g(\phi)$ is small if also g is small, which is the case near the areas with a large image gradient (see Eq. 3).

$A_g(\phi)$ is an area term obtained by computing the *volume integral* (area in R^2) of g over the interior region $\Omega_\phi^- = \{(x, y) < 0\}$ (OSHER & FEDKIW 2002):

$$A_g(\phi) = \int_{\Omega} g H(-\phi) dx dy \quad (7)$$

where H is the Heaviside function. The Heaviside function is a discontinuous function whose value is zero for a negative argument and one for a positive argument

$$H(\phi) = \begin{cases} 0 & \text{if } \phi < 0 \\ 1 & \text{if } \phi \geq 0 \end{cases} \quad (8)$$

The energy functional $A_g(\phi)$ in Eq. 7 is introduced to speed up curve evolution (LI et al. 2005). Note that when g is constant ($g = 1$), the energy functional in Eq. 8 equals the area of the region Ω_ϕ^- , and as g gets smaller, so does $A_g(\phi)$.

The external energy is then defined as

$$E_m(\phi) = \lambda L_g(\phi) + v A_g(\phi) \quad (9)$$

where $\lambda > 0$ and v is a constant.

Now, the following total energy functional is defined

$$\begin{aligned} E(\phi) &= \mu P(\phi) + E_m(\phi) \\ &= \mu \int_{\Omega} \frac{1}{2} (|\nabla \phi| - 1)^2 dx dy \\ &\quad + \lambda \int_{\Omega} g d(\phi) |\nabla \phi| dx dy \\ &\quad + v \int_{\Omega} g H(-\phi) dx dy \end{aligned} \quad (10)$$

The external energy E_m drives the zero level curve toward the object boundaries, while the internal energy $P(\phi)$ penalizes the deviation of ϕ from a signed distance function during its evolution, and $\mu > 0$ is a parameter controlling the effect of penalisation.

Eq. 10 is solved using the *calculus of variation* (COURANT & HILBERT 1953). The Gateaux derivative (first variation) of the functional E in Eq. 10 can be written as

$$\begin{aligned} \frac{\partial E}{\partial \phi} &= -\mu \left[\Delta \phi - \operatorname{div} \left(\frac{\nabla \phi}{|\nabla \phi|} \right) \right] \\ &\quad - \lambda \delta(\phi) \operatorname{div} \left(g \frac{\nabla \phi}{|\nabla \phi|} \right) - v g \delta(\phi) \\ &= 0 \end{aligned} \quad (11)$$

where Δ is the Laplacian operator. Eq. 11 is transferred into time space by taking the temporal partial derivative of the level set function $\frac{\partial \phi}{\partial t}$ and solved iteratively by applying the method of steepest descent (LI et al. 2005):

$$\begin{aligned} \frac{\partial \phi}{\partial t} &= \mu \left[\Delta \phi - \operatorname{div} \left(\frac{\nabla \phi}{|\nabla \phi|} \right) \right] \\ &\quad + \lambda \delta(\phi) \operatorname{div} \left(g \frac{\nabla \phi}{|\nabla \phi|} \right) + v g \delta(\phi) \end{aligned} \quad (12)$$

Eq. 12 is the evolution equation of the level set function used in our approach. The iterations stop when the change of ϕ becomes smaller than a pre-defined threshold.

3 Extraction Strategy

In order to focus the extraction of traffic islands to the proper image regions, we make use of the junction outlines as prior information (see RAVANBAKSHI et al. 2008 for a description of how we detect these outlines). Here, the outlines together with the aerial imagery are regarded as input. Our strategy comprises three steps (cf. Fig. 4). First, the intended image area is segmented. Next, initialization of the level set function is carried out followed by the curve evolution. Finally, islands are selected by introducing some additional constraints. The obtained result consists of the extracted islands.

3.1 Segmentation

First, the image area in which islands are located is clipped from the image. The search space for islands is further restricted to an area around the estimated junction centre point called *island area* (cf. Fig. 5 a). To begin the island extraction by curve evolution, the initial level set function needs to be constructed. It is computed within the island area. Prior segmentation of this area is carried out to derive a rough idea of island regions from which the initial level set function is constructed. Skipping the segmentation step results in a much larger number

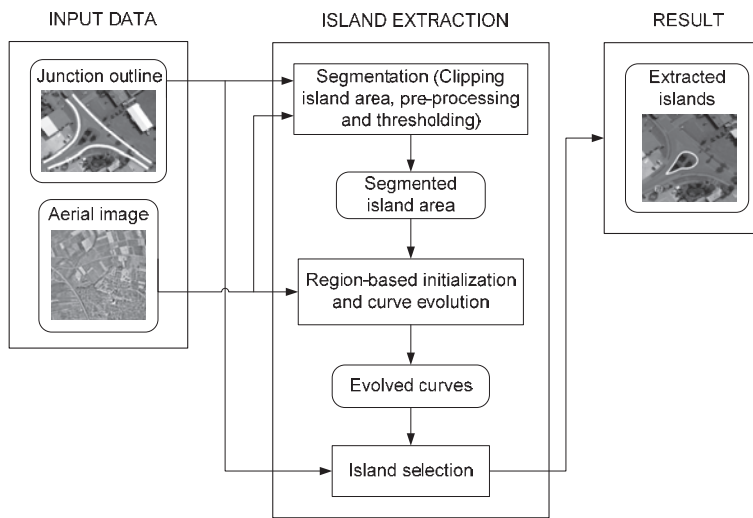


Fig. 4: Workflow of island extraction.

of iterations, furthermore, many undesirable features can be delineated when the evolving curve moves towards the islands.

Since we work in suburban or rural regions we assume that most of the junction area shows a rather homogeneous grey value distribution. This assumption is equivalent to expecting that there are not too many disturbances such as cars or shadows in the junction. Under these circumstances, the histogram of the pre-processed image shows one main peak which is related to the surface material of the road and potentially a few smaller peaks related to the islands and various disturbances (cf. Fig. 6). To start pre-processing morphological opening is applied in order to remove distortions such as road markings. Subsequently, closing with the same structuring element is performed to eliminate small shadows etc.

Next, Gaussian smoothing is applied to the image (cf. Fig. 5b) followed by thresholding the histogram (cf. Fig. 5c). The threshold value is computed by applying the Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique Algorithm (ISODATA – RIDLER & CALVARD 1978) on the histogram of the island area. At this stage, we consider convex areas inside the junction to be potential islands.

3.2 Initialization and Curve Evolution

The initial level set function is constructed from the segmented image so that areas in white are assigned a negative value and black areas take a positive value of the same magnitude. The zero level curve of the initial level set function is shown in Fig. 5d. To evolve towards the island boundaries, the coefficient of the weight ν of the area term

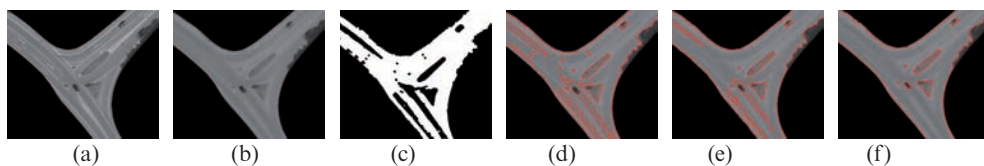


Fig. 5: (a) Island area. (b) pre-processed image. (c) Segmented image. (d) The zero level curve of the corresponding initial level set function. (e) Intermediate result of the zero level curve evolution with $\lambda = 4$, $\mu = 0.13$, $\nu = 1.5$ after 50 iterations. (f) The zero level curve of the final level set function after 265 iterations.

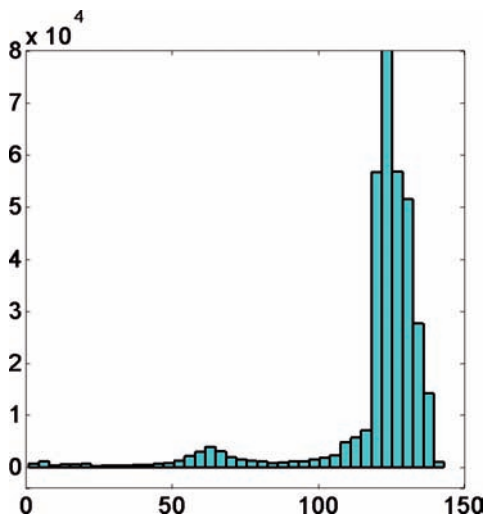


Fig. 6: Grey value histogram of the pre-processed island area with one large peak belonging to the road surface area. In this example a threshold of 121 was computed for segmentation, and the islands are darker than the road surface area.

in Eq. 4 needs to be positive if the island surface is brighter than the surrounding surface area, and negative otherwise. The question of whether the island surface is brighter or darker than the surroundings is derived by analysing the histogram of the pre-processed island area (see Section 3.1 and Fig. 6). In examples where among existing islands some are darker and some others are brighter than the background, only the group of islands with the larger number of pixels can be detected with our method.

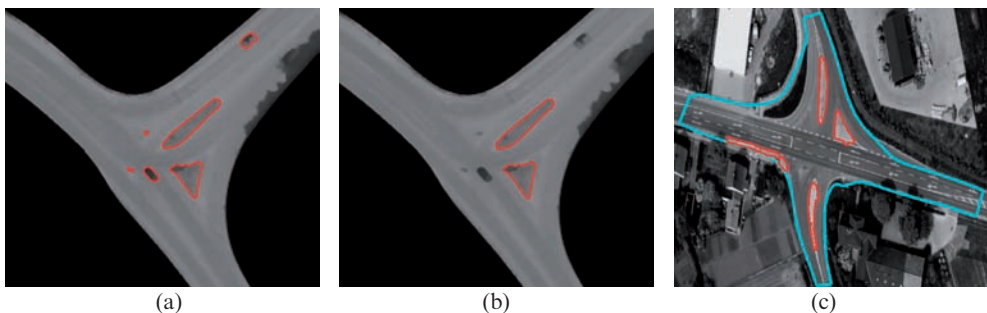


Fig. 7: (a) Closed curves are retained as island candidates. (b) Two cars having areas of 13 and 11 m² are eliminated. The remaining islands have areas of 67 and 52 m². (c) shows the topological constraint. One of the obtained contours (left side) partly touches the junction outline and is removed.

The initial level set function then evolves according to the evolution equation (12). Figs. 5e&f present an example in which the zero level curve converges to the boundary of the islands.

3.3 Island Selection

In order to select the final islands, some geometric and topological constraints are introduced based on the properties of islands, because, in addition to the islands, some undesirable features such as vehicles and large shadow areas may have been extracted as island candidates. Small closed areas below a certain size are removed. Since island candidates must be located within the junction outline, those curves that touch the junction outline are also removed. Fig. 7 shows the individual steps of island selection.

Finally, islands possess boundaries with a small curvature variation, so the contours with high curvature variations, i.e. their mean curvature is greater than a certain threshold, are eliminated.

4 Results and Evaluation

For our experiments, we used black-and-white aerial Digital Mapping Camera (DMC) orthoimagery with a ground sample distance of 0.1 m. The images depict rural and suburban areas. Because the number of junctions including traffic islands in one scene is generally low, junctions are selected from a large number of images. We tested



Fig. 8: Road junction extraction results. Image samples represent scenes that contain varying degrees of complexity including disturbances.

the proposed approach on a set of road junction samples with an identical set of control parameters for the level sets. Altogether 17 islands were processed. Some selected samples are given in this Section to demonstrate the capabilities of the new approach (cf. Fig. 8).

In order to quantitatively evaluate the performance of the approach, we compared the extraction results to manually plotted islands used as reference data. The comparison was carried out by matching the extraction results to the reference data using the so-called buffer method (HEIPKE et al. 1998). An extracted object is assumed to be correct if the maximum distance between the extracted object and its corresponding reference does not exceed the buffer width. Furthermore, a reference object is assumed to be matched if the maximum deviation from the extracted object is within the buffer width. Based on these assumptions the following quality measures were used in our work:

- **Completeness:** is the ratio of the number of matched reference objects to the number of reference objects.
- **Correctness:** is the ratio of the number of correctly extracted objects to the number of extracted objects.
- **Geometric accuracy:** is the average distance between the correctly extracted objects and its corresponding reference expressed as root mean square (RMS) value.

Tab. 1 shows the evaluation results of the island extraction. The buffer width can be defined according to the required extraction accuracy for a specific application. In our tests, it was set to 0.3 m and 0.5 m, i. e. 3

Tab. 1: Evaluation results for traffic islands.

Buffer width (m)	0.3	0.5
Reference number of islands	17	17
Completeness	65%	71%
Correctness	60%	87%
Geometric accuracy (m)	0.18	0.22

pixels and 5 pixels in concert with the image resolution of 0.1 m. This selection allows to assess the relevance of the approach for applications that demand varying degrees of accuracy.

As expected, while the results are encouraging, because a number of islands could be extracted correctly and accurately, a few problems still remained. Also, we would like to emphasize that the percentages given in Tab. 1 have to be considered with some care, since they are not based on a very large number of cases. Nevertheless, the table shows that the developed approach is in principle capable of extracting traffic island form high resolution aerial images in rural and suburban areas.

A closer look to the results revealed that among the 17 traffic islands, two could not be detected for two reasons:

- In the first case the island was very narrow. As a result, morphological operations applied in the segmentation step, caused the size of the island to decrease and consequently the narrow parts of the island were almost washed out (cf. Fig. 9a).

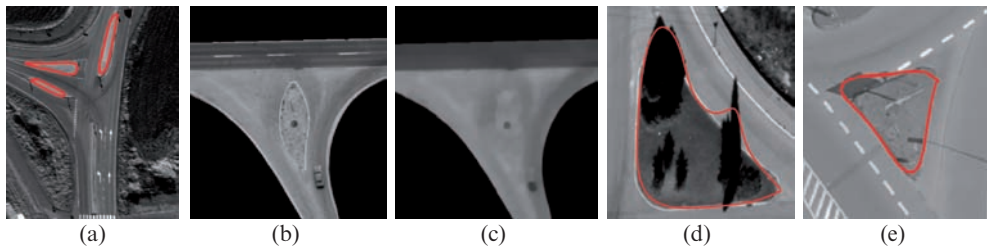


Fig. 9: Illustrating different problems in the detection of islands. (a) The bottom island cannot be extracted because it is very narrow. (b) Original image with a poor contrast at the island border. (c) The island is almost wiped out after pre-processing. (d) Tree shadows affecting the final result. (e) Shadows from the traffic sign causing the final curve to lie slightly outside the correct island boundary.

- Poor contrast between the island surface and the surrounding area caused another island to be nearly washed out during pre-processing. Thus, it could not be detected in the following steps (cf. Fig. 9b&c).

Likely disturbances, which deteriorate the geometrical accuracy of the island detection are of two kinds: shadows of trees situated inside the islands (cf. Fig. 9d) and vehicles and traffic signs beside the islands and their shadows (cf. Fig. 9e). In these cases the level set method delivered results of geometrically somewhat reduced quality, however, the islands themselves could be extracted.

5 Conclusion and Outlook

In this paper, we have proposed a new approach for the automatic extraction of traffic islands often appearing in the central area of junctions, which is based on a level set formulation. Level sets were primarily chosen because of their adaptive topology. While the presented results indicate some problems with the developed method, they also demonstrate the feasibility of extracting traffic islands using level sets from black and white high resolution aerial images, since 15 out of 17 islands were extracted, and the correctness of the extracted areas amounted to 87%. Nevertheless, partial occlusion of islands by shadows (cf. Fig. 9d) as well as poor contrast on the island boundaries (cf. Fig. 9b) cannot be overcome at this stage.

There are several possibilities to further enhance the results obtained so far and to

be able to deal with more complex scenes. The incorporation of high-level prior knowledge about the shape of traffic islands within the level set framework can provide a solution to these problems. In the literature, there are some references of successful object extraction using shape information in the presence of image noise, clutter and occlusions (CREMERS et al. 2006, BAILLOEUL et al. 2005, CREMERS et al. 2003). Furthermore, such shape-driven level set schemes can reduce the number of detected island candidates that are obtained at the evolution stage.

Due to a variety of disturbing features in urban areas such as large shadows and a potentially high number of vehicles inside the junction, the segmentation may fail to provide meaningful initial results for starting the curve evolution. In such cases, prior detection and removal of these features seems to be necessary to obtain a proper segmentation result. Detection of disturbing features as well as islands of different radiometric characteristics in a junction can be performed using a multiple level set framework (VESE & CHAN 2002). However, having initially several classes of features can add to the complexity of the problem. The use of other data sources such as precise height data and multispectral images can be of help to remove irrelevant classes of features.

References

- BAILLOEUL, T., PRINET, V., SERRA, B. & MARTHON, P., 2005: Spatio-Temporal Prior Shape Constraint for Level Set Segmentation. – En-

- ergy Minimization Methods in Computer Vision and Pattern Recognition (EMMCVPR), LNCS (3757): 503–519.
- BARSI, A., HEIPKE, C. & WILLRICH, F., 2002: Junction Extraction by Artificial Neural Network System – JEANS. – *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* **34** (3B): 18–21.
- COURANT, R. & HILBERT, D., 1953: *Methods of Mathematical Physics*. – Wiley-Interscience, New York.
- CREMERS, D., SOCHEN, N. & SCHNOERR, C., 2003: Towards recognition-based variational segmentation using shape priors and dynamic labeling. – 4th International Conference on Scale Space Theories in Computer Vision, LNCS (2695): 388–400.
- CREMERS, D., OSHER, S. & SOATTO, S., 2006: Kernel Density Estimation and Intrinsic Alignment for Shape Priors in Level Set Segmentation. – *International Journal of Computer Vision*, **63** (3): 335–351.
- GAUTAMA, S., GOEMAN, W. & D’HAEYER, J., 2004: Robust detection of road junctions in VHR images using an improved ridge detector. – *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* **35** (B3): 815–819.
- GERKE, M., 2006: Automatic Quality Assessment of Road Databases Using Remotely Sensed Imagery. – *Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Geodäsie und Geoinformatik der Universität Hannover* **261**; also in: *Deutsche Geodätische Kommission C* **599**.
- HEIPKE, C., MAYER, H., WIEDEMANN, C. & JAMET, O., 1998: External evaluation of automatically extracted road axes. – *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation* **1998** (2): 81–94.
- HEIPKE, C., STEGER, C. & MALTHAMMER, R., 1995: A hierarchical approach to automatic road extraction from aerial imagery. – *Integrating Photogrammetric Techniques with Scene Analysis and Machine Vision II, SPIE Proceedings* (2486): 222–231.
- HINZ, S., BAUMGARTNER, A., STEGER, C., MAYER, H., ECKSTEIN, W., EBNER, H. & RADIG, B., 1999: Road extraction in rural and urban areas. – *Semantic Modeling for the Acquisition of Topographic Information from Images and Maps (SMATI’99)*, München, 7–27.
- KASS, M., WITKIN, A. & TERZOPOULOS, D., 1988: Snakes: Active contour models. – *International Journal of Computer Vision* **1** (4): 321–331.
- LAPTEV, I., MAYER, H., LINDBERG, T., ECKSTEIN, W., STEGER, C. & BAUMGARTNER, A., 2000: Automatic extraction of roads from aerial images based on scale space and snakes. – *Machine Vision and Applications* **12** (1): 23–31.
- LI, H., XU, C., GUI, C. & FOX, M. D., 2005: Level Set Evolution without Re-initialization: A New Variational Formulation. – *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR’05)*, 430–436.
- MAYER, H., LAPTEV, I. & BAUMGARTNER, A., 1998: Multi-Scale and Snakes for Automatic Road Extraction. – *Fifth European Conference on Computer Vision*, 720–733.
- MCINERNEY, T. & TERZOPOULOS, D., 1995: Topologically Adaptable Snakes. – *Fifth International Conference on Computer Vision (ICCV’95)*, 840–845.
- OSHER, S. & FEDKIW, R., 2002: *Level Set Methods and Dynamic Implicit Surfaces*. – Springer-Verlag, New York.
- OSHER, S. & SETHIAN, J. A., 1988: Fronts Propagating with Curvature-Dependent Speed: Algorithms Based on Hamilton-Jacobi Formulations. – *Journal of Computational Physics* **79** (1): 12–49.
- RAVANBAKHSH, M., HEIPKE, C. & PAKZAD, K., 2008: Road Junction Extraction from High Resolution Aerial Imagery. – *The Photogrammetric Record*, in print.
- RIDLER, T. W. & CALVARD, S., 1978: Picture thresholding using an interactive selection method. – *IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics*, **SMC-8** (8): 1264–1291.
- SZELISKI, R., TONNESEN, D. & TERZOPOULOS, D., 1993: Modeling surfaces of arbitrary topology with dynamic particles. – *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR’93)*, 82–87.
- VESE, L. A. & CHAN, T. F., 2002: A Multiphase Level Set Framework for Image Segmentation Using the Mumford and Shah Model. – *International Journal of Computer Vision* **50** (3): 271–293.
- WIEDEMANN, C., 2002: Improvement of Road Crossing Extraction and External Evaluation of the Extraction Results. – *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* **34** (3B): 297–300.
- ZHANG, C., 2004: Towards an operational system for automated updating of road databases by integration of imagery and geodata. – *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* **58** (3/4): 166–186.

Address of the Authors:

Dr.-Ing. MEHDI RAVANBAKHS, Dr.-Ing. KIAN
PAKZAD & Prof. Dr.-Ing. CHRISTIAN HEIPKE, Ins-
titut für Photogrammetrie und GeoInformation
(IPI), Leibniz Universität Hannover, Nienburger
Str. 1, 30167 Hannover, Tel.: +49-511-762-2482,
Fax: +49-511-762-2483, e-mail: ravanbakhsh |
pakzad | heipke@ipi.uni-hannover.de

Manuskript eingereicht: April 2008

Angenommen: Juni 2008

Anwendungsbeispiele der Nahbereichsphogrammetrie in der Automobilindustrie

MANFRED WIGGENHAGEN, Hannover

Keywords: Camera calibration, quality assessment, industrial application

Summary: *Close Range Photogrammetry Applications in the Automotive Industry.* This paper describes the application of photogrammetric methods in two selected areas of the automotive industry. Detailed information is given about investigations for the improvement of the measuring accuracy under practical conditions and the three dimensional point determination from image sequences. In the field of high precision determination of reference points improvements are presented for the design of scale bars, the signalization of object points and the consideration of interior orientation parameters. For image sequence measurements the effect of asynchronous cameras is considered.

Zusammenfassung: Dieser Beitrag beschreibt Anwendungen der Photogrammetrie in zwei ausgewählten Bereichen der Automobilindustrie. Es wird im Detail auf Untersuchungen zur Verbesserung der photogrammetrischen Messgenauigkeit unter praktischen Bedingungen und die dreidimensionale Punktbestimmung aus Bildsequenzen eingegangen. Auf dem Gebiet der hochgenauen Bestimmung von Referenzpunkten werden Verbesserungen bei der Bereitstellung von Maßstäben, der Signalisierung von Objektpunkten und Berücksichtigung der Parameter der inneren Orientierung vorgestellt. Aus dem Bereich der Bildsequenzauswertung wird näher auf die Berücksichtigung asynchroner Kameras eingegangen.

1 Einleitung

Die hohe Akzeptanz der Nahbereichsphogrammetrie in der Automobilindustrie basiert auf der Fähigkeit der berührungslosen Messung und der Möglichkeit, große und komplexe Objekte in relativ kurzer Zeit zu erfassen. Weiterhin können dynamische Prozesse mit hoher zeitlicher und räumlicher Auflösung dreidimensional ausgewertet werden.

Kennzeichnend für photogrammetrische Messsysteme ist die hohe Flexibilität in der Anwendung. Sie werden unter anderem in der Produktion als Prüfmittel für Form und Maß oder zum Digitalisieren von Modellen in der Entwicklung eingesetzt. So werden optische 3-D-Industriemesssysteme zunehmend auch in Bereichen der Qualitätssicherung eingesetzt, in denen bisher taktile antastende Geräte, wie zum Beispiel Koordinatenmessmaschinen verwendet wurden. Ins-

besondere bei der Vermessung komplexer Objekte mit großer räumlicher Ausdehnung spielten bereits in den 90er Jahren großformatige Industriemesssysteme eine wichtige Rolle (DOLD 1997). Inzwischen werden die Methoden der dreidimensionalen Punktbestimmung auch erfolgreich im Bereich der Fahrzeugsicherheitsversuche (Crashtests) eingesetzt. Bei der Auswertung von Bildsequenzen müssen jedoch zusätzliche Rahmenbedingungen beachtet werden, wie z. B. die Synchronität der Kameras bei der Aufnahme mit mehreren Sensoren gleichzeitig.

In diesem Beitrag wird zunächst auf die Rahmenbedingungen und die Optimierungsmöglichkeiten bei der hochgenauen dreidimensionalen Punktbestimmung eingegangen und die Berücksichtigung von Prüfgrößen zur Qualitätskontrolle vorgestellt. In der Bildsequenzauswertung werden aktuelle Entwicklungen bei der Verarbeitung von asynchron aufgenommenen Bild-

sequenzen beschrieben und Vorschläge für zukünftige Optimierungen der Messverfahren besprochen.

2 Hochgenaue dreidimensionale Punktbestimmung

Für die hochgenaue dreidimensionale Vermessung von Fahrzeugoberflächen werden Streifenprojektionssysteme eingesetzt, deren Messvolumen allerdings begrenzt ist. Die photogrammetrische Punktbestimmung wird daher in diesem Anwendungsbereich zur Beschaffung von Referenzpunkten genutzt. Die Verknüpfung einzelner Patches der Streifenprojektion erfolgt dann über diese photogrammetrisch bestimmten Referenzpunkte (ANDRÄ & PEIPE 2002). Da diese Punkte zur hochgenauen Verknüpfung der Punktwolken dienen müssen, sollten sie eine Größenordnung genauer als die Messung mit Streifenprojektionssystemen sein. In den vergangenen Jahren haben sich die Messverfahren der Streifenprojektion erheblich weiterentwickelt und erreichen inzwischen relative Genauigkeiten von weniger als 0,1 mm pro 1 m gemessener Objektlänge. Voraussetzung für die Einführung von Referenzpunkten ist demnach eine Standardabweichung der Punktkoordinaten von 0,01 ... 0,02 mm als Ergebnis der photogrammetrischen Bündelausgleichung. Diese Forderung kann nur unter Beachtung folgender Kriterien erfüllt werden:

- Bereitstellung von hochgenau kalibrierten Systemmaßstäben (Längenverkörperung besser 5 μ m),
- Nutzung hochauflösender Kameras mit stabiler Kamerageometrie,
- Aufnahme des Objektes über Rundumverbände mit hoher Redundanz und guten Schnittbedingungen,
- Optimale Ausleuchtung der Szene mit leistungsfähigen Blitzgeräten,
- Signalisierung der Objekt- und Verknüpfungspunkte mit angepassten Messmarken und
- Berücksichtigung zusätzlicher Parameter der inneren Orientierung.

Die in den vergangenen Jahren entwickelten Verbesserungsmöglichkeiten des photogrammetrischen Messsystems wurden ausgelegt auf die optimale Erfüllung der o.g. Kriterien. Hierzu wurden in Kooperation mit den Automobilherstellern, insbesondere der Volkswagen AG, Wolfsburg, kontinuierlich wissenschaftliche Arbeiten durchgeführt und die Ergebnisse in die praktische Anwendung übernommen.

2.1 Überprüfung der Messergebnisse mit hochgenau kalibrierten Systemmaßstäben

Bei der Volkswagen AG wurden in den letzten Jahren längenstabile Prüfkörper aus Kohlefasermaterial hergestellt, deren signalisierte Maßstabslängen mit einem Laserinterferometer auf $\pm 5 \mu$ m genau kalibriert werden können. Unter Berücksichtigung der Richtlinie VDI/VDE 2634/1 zur Überprüfung der erreichbaren Längenmessgenauigkeit (siehe VDI/VDE 2002) wurden umfangreiche Simulationsrechnungen zur Optimierung des photogrammetrischen Messverfahrens durchgeführt. Aus den Simulationsrechnungen ergaben sich Lösungen für optimale Aufnahmeverbände (siehe Abb. 1) und Vorschläge für die Umsetzung der VDI/VDE Richtlinie im praktischen Einsatz. Das Prüfgestell wurde nach dieser Richtlinie mit System- und Kontrollmaßstäben versehen. Mehrere digitale Kameras wurden zur dreidimensionalen Punktbestimmung der Verknüpfungs- und Maßstabspunkte am Prüfgestell genutzt, um das

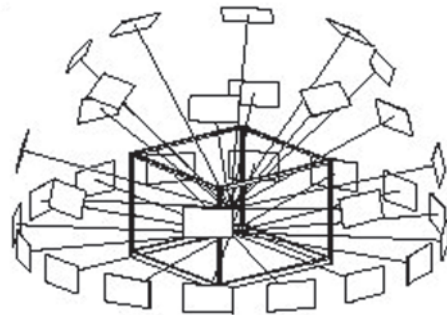


Abb. 1: Rundumverband mit 36 Aufnahmen.

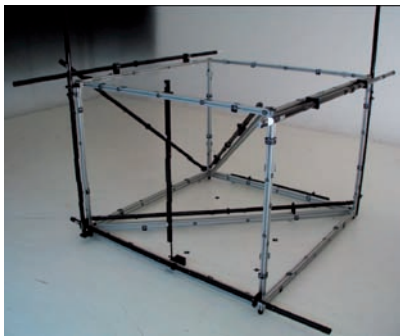


Abb. 2: Prüfgestell mit Maßstäben.

Leistungspotenzial der einzelnen Messsysteme vergleichen und einschätzen zu können (siehe Abb. 2).

Als Ergebnis wurden maximale Längenmessabweichungen des Halbverbandes von 0,260 mm und des Vollverbandes von 0,292 mm ermittelt (vgl. RAUTENBERG 2000). Da sich in der aufgenommenen Szene acht triangulierten Streckenlängen mehrfach mit den kalibrierten Solllängen verglichen werden. Die Differenzen werden in einem Diagramm als Längenmessabweichungen dargestellt (siehe Abb. 3) Die Ergebnisse dieser ersten Untersuchungen ergaben jedoch Längenmessabweichungen, die teilweise bis zu 10-fach schlechter als die erwarteten Längenmessabweichungen waren. Diese Diskrepanz war darauf zurückzuführen, dass die Ergebnisse der photogrammetrischen Punktbestimmung erstmalig nach den Vor-

gaben der VDI/VDE Richtlinie kontrolliert und als Qualitätsmaß die Längenmessabweichung herangezogen wurde, während früher häufig die innere Genauigkeit der Bündelausgleichung als Qualitätskriterium betrachtet wurde (vgl. LUHMANN & GODDING 2004). Da sich diese ersten Ergebnisse auf eine sehr frühe Realisierung des Prüfgestells bezogen, wurden zur weiteren Steigerung der Messgenauigkeit Verbesserungen an der Konstruktion der Maßstäbe und Zielmarken vorgeschlagen und umgesetzt.

2.2 Erhöhung der Messgenauigkeit mit optimierten Messmarken

Da in der Automobilindustrie auch Versuche in der Kältekammer bei extremen Temperaturunterschieden durchgeführt werden, wurden die Punktmarken auf den Maßstäben als Glasflächen mit austauschbarem Hintergrund für indirekte Beleuchtung und mit aufgedampften Zielmarken für hohe Randschärfe ausgelegt. In mehreren unabhängigen Untersuchungen (siehe DREYER 2003 und GÜLKER 2004) wurden jedoch negative Einflüsse der chrombedampften Glasmarken auf das Messergebnis nachgewiesen. Je nach Ausleuchtung der Szene ergaben sich bei den Glasmarken unerwünschte Schatten und Doppelabbildungen, die die automatische Punktmessung in den digitalen Bildern verfälschten (siehe Abb. 4). Daher wurden die Messmarken der Referenzmaßstäbe hinsichtlich ihrer Form und Farbe optimiert.

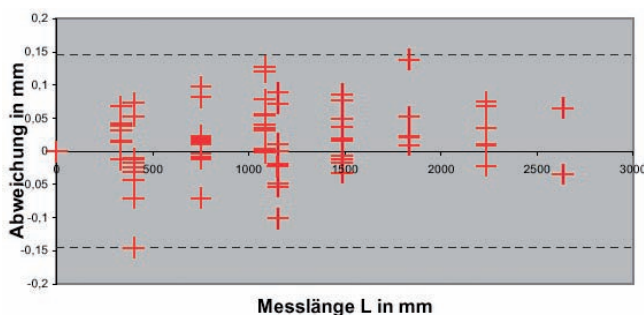


Abb. 3: Längenmessabweichungen dargestellt für 9 Streckenlängen auf 8 genutzten Kontrollmaßstäben.

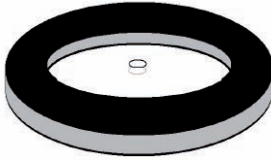


Abb. 4: Chrombedampfte Glasmarke.

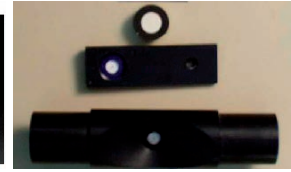
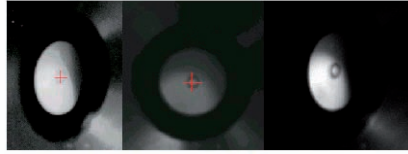


Abb. 5: Epoxydarke (oben).

Hierzu wurden die Referenzmaßstäbe mit weißen Epoxydmarken versehen (siehe Abb. 5) und die Längenmessabweichungen erneut aus mehreren Projekten mit unterschiedlichen Kamera-Objektivkombinationen berechnet. Die Optimierung der Messmarken führte zu einer Verkleinerung der maximalen Längenmessabweichungen von bisher 0,3 mm auf 0,050 mm. Da dieser Wert noch nicht der erwarteten Größenordnung entsprach, wurden Instabilitäten in der Kamerageometrie vermutet, die ggf. auf Abnutzungserscheinungen der Objektivfassungen zurückgeführt werden können.

2.3 Berücksichtigung zusätzlicher Parameter der inneren Orientierung

In vielen Bereichen der optischen Messtechnik werden Digitalkameras eingesetzt, die nicht ausdrücklich für den Einsatz als Messkamera mit stabiler und konstanter innerer Orientierung konstruiert wurden. Um qualitativ hochwertige Triangulationsergebnisse zu erzielen, wurden in unterschiedlichen Untersuchungen sowohl Erweiterungen der Modellierung der inneren Orientierung als auch bildvariante Ansätze getestet, die mögliche Abweichungen der Kamerageometrie während der Aufnahme kompensieren sollten. In allen Fällen sind diese Ansätze jedoch vom Typ und der Bauweise der genutzten Kamera abhängig und müssen je nach Auswahl durch den Anwender angepasst werden (vgl. RIEKE-ZAPP et al. 2008). Aus den eingehenden Untersuchungen zur Kamerageometrie und zu systematischen Linsenfehlern ergab sich die Vermutung, dass sich die Objektive der Digitalkameras während der Aufnahme in Abhängigkeit von der Schwerkraft relativ zum Sensor bewegen

und damit eine konstante innere Orientierung in Frage gestellt werden muss (siehe Abb. 6). Bei photogrammetrischen Aufnahmen nach VDI/VDE 2634/1 wird die horizontale Grundrissebene durch signalisierte Bodenpunkte repräsentiert. Über diese absolute Orientierung im Hallenkoordinatensystem und die äußere Orientierung der Kamera kann die Richtung der optischen Achse zur Gravitationsrichtung bestimmt und in den Auswerteprozess einbezogen werden. In weiteren Untersuchungen (vgl. HAIG et al. 2006 & HAIG et al. 2007) wird ein neuer gravitationsrichtungsabhängiger Parameter für die innere Orientierung digitaler Kameras zur Kompensierung von Neigungen am Objektivanschluss beschrieben. In diesen Beiträgen wird der Effekt der Gravitation auf das Objektiv und dessen Anschluss modelliert und ein physikalisches Modell zur Kompensation des Gravitationseinflusses getestet. Erste Ergebnisse weisen bereits Verbesserungen der Längenmessabweichungen nach VDI/VDE 2634/1 auf. In mehreren Versuchen (siehe Abb. 7) wurden mit einer Digitalkamera Fuji FinePix S2 Pro vergleichbare Bildverbände mit und ohne Korrektur der Objektivneigung gerechnet. In Projekt 1 wurden ca. 200 Aufnahmen mit häufiger Kantung der Kamera berücksich-

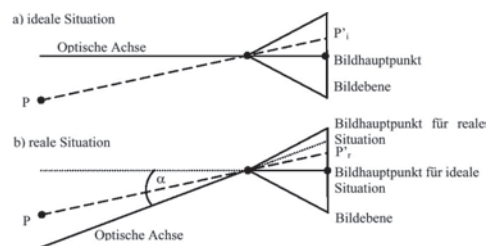


Abb. 6: Gravitationseinfluss auf die optische Achse.

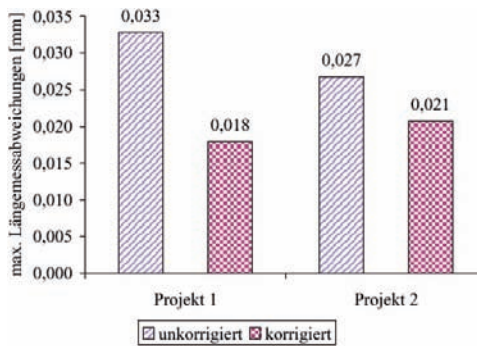


Abb. 7: Max. Längenmessabweichungen pro m für unkorrigierte und korrigierte Objektivneigungen.

tigt, in Projekt 2 wurden ca. 120 Aufnahmen in überwiegend horizontaler Anordnung ausgewertet. Die Vorgabe, eine Längenmessabweichung von 1:100 000 bzw. 0,020 mm bei einer Maßstabslänge von 2000 mm zu erreichen, konnte mit diesem Ansatz halb erfüllt werden, erreicht wurden 0,021 mm bezogen auf eine Streckenlänge von 1 m.

Die Erweiterung des Parametermodells für die innere Orientierung wurde daher in ein Bündelausgleichsprogramm integriert. Weitergehende Untersuchungen zur signifikanten Wirkung dieses Ansatzes auf die Messgenauigkeit werden zur Zeit im Rahmen einer laufenden Dissertation an der Leibniz Universität Hannover durchgeführt. Es ist geplant, diese in Kürze zu veröffentlichen.

3 Auswertung von Bildsequenzen

In den vergangenen Jahren wurde die photogrammetrische Punktbestimmung auch erfolgreich für die Auswertung von Fahrzeugsicherheitsversuchen angepasst. Durch die Berechnung dreidimensionaler Objektpunktwolken des Fahrzeugs auf der Versuchsanlage konnten erstmalig dreidimensionale Simulationsdaten mit den realen Versuchsdaten überlagert werden und wertvolle Schlüsse für die Optimierung und Steigerung der Sicherheit der Fahrzeuge abgeleitet werden (siehe Abb. 8).

Die praxisnahe Integration der photogrammetrischen Messmethodik in den Ver-

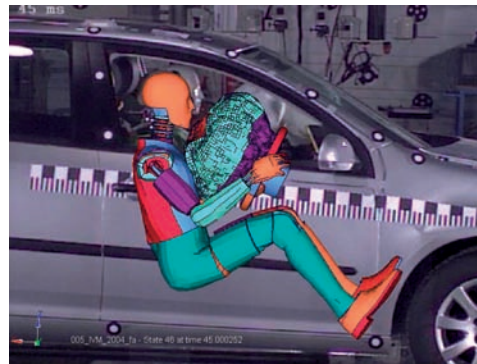


Abb. 8: Überlagerung von Simulationsdaten mit realen Bilddaten.

suchsablauf stellte eine große Herausforderung dar. Einerseits mussten geometrische Minimalforderungen erfüllt werden, um eine akzeptable Messgenauigkeit zu erreichen, andererseits musste der zusätzliche Versuchsaufwand, wie z. B. die Punktsignalisierung und der Einsatz zusätzlicher Kameras in vertretbaren Grenzen gehalten werden. Zur Kontrolle einzelner Phasen der photogrammetrischen Messkette wurden Qualitätsparameter entwickelt, die den Anwendern geeignete Kenngrößen zur Einschätzung der erreichbaren Messgenauigkeit und Qualität des dreidimensionalen Ergebnisses zur Verfügung stellen (siehe WIGGENHAGEN & RAGUSE 2003).

3.1 Kenngrößen zur Qualitätsbeurteilung

In den vergangenen Jahren wurden bereits in unterschiedlichen Gremien, wie z. B. DIN und VDI verstärkt Richtlinien entwickelt und Verfahren vorgestellt, die unabhängig von den verwendeten Ausgleichsansätzen eine Bewertung der Qualität der photogrammetrischen Ergebnisse ermöglichen (siehe LUHMANN & WENDT 2000 und RAUTENBERG & WIGGENHAGEN 2002).

Aus praktischen Erfahrungen in Fahrzeugsicherheitsversuchen ergaben sich weitere Kenngrößen zur Beurteilung der Qualität photogrammetrischer Bildverbände in Nahbereichsprojekten (siehe RAGUSE & WIGGENHAGEN 2003a). Diese Kenngrößen

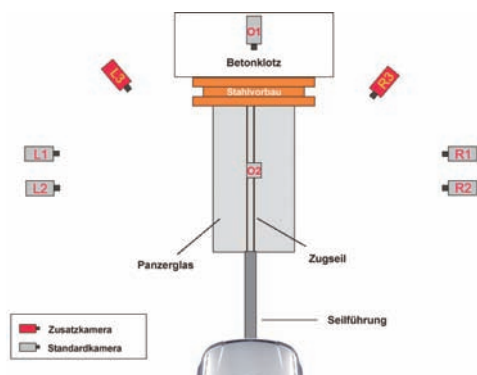


Abb. 9: Aufnahmeanordnung beim Sicherheitsversuch.

sollen den Nutzer in die Lage versetzen, bei der Vorbereitung und Durchführung photogrammetrischer Objektbestimmungen qualitativ hochwertige Ergebnisse zu erzielen. Die Kenngrößen können aus einfachen geometrischen Maßen abgeleitet werden und erfordern kein tiefgehendes Wissen über statistische Methoden oder Ausgleichsverfahren (siehe RAGUSE & WIGGENHAGEN 2003b). Die Aufspaltung der photogrammetrischen Messkette in Teilprozesse mit den jeweilig gültigen Kenngrößen hat dazu geführt, dass im praktischen Versuchsbetrieb Messabläufe optimiert und Aufnahmekonstellationen verbessert werden konnten (siehe Abb. 9). Bei einigen Automobilherstellern werden die spezifischen Kenngrößen zur Vorbereitung und Kontrolle interner Versuchsabläufe in der Nahbereichsphotogrammetrie, insbesondere bei der Vorbereitung von Fahrzeugsicherheitsversuchen, eingesetzt. So kann z. B. überprüft werden, ob der notwendige Zielmarkendurchmesser

in der speziellen Aufnahmegeometrie erfüllt ist.

Diese zusätzlich definierten Kenngrößen haben auch Beachtung auf internationaler Ebene gefunden und wurden zwischenzeitlich in abgewandelter Form in der Revision der ISO 8721 *Road vehicles – Measurement techniques in impact tests – Optical Instrumentation* verwendet (siehe ISO 2002).

3.2 Synchronität von Mehrkamerasystemen

Eine grundlegende Voraussetzung für die exakte photogrammetrische Bestimmung bewegter Objekte aus Bildsequenzen eines Mehrkamerasystems ist die synchrone Bildaufnahme. Asynchronitäten zwischen den einzelnen Kameras können zu systematischen Verschiebungen der dreidimensionalen Objektkoordinaten führen. Daher wurden verschiedene Versuchsaufbauten untersucht, mit deren Hilfe vorhandene Asynchronitäten bei High-Speed Kameras bestimmt werden können (vgl. ERNST 2002). Diese bestanden z. B. aus rotierenden Prüfkörpern, die im Vordergrund vor einem Festpunktfeld bewegt wurden (siehe Abb. 10) und Asynchronitäten der eingesetzten zwei Kameras aus den Parallaxen bei der Punkttriangulation aufdecken konnten. Aus Asynchronitäten resultierende x-Parallaxen erzeugten Fehler in der Objektkoordinate parallel zur Blickrichtung, y-Parallaxen führten zu windschiefen Schnitten der Bildstrahlen und damit zu großen Verbesserungen in den Bildkoordinaten.

Die Untersuchungen deckten vorhandene Asynchronitäten bei Kameras mit externer Synchronisation auf und mündeten in der

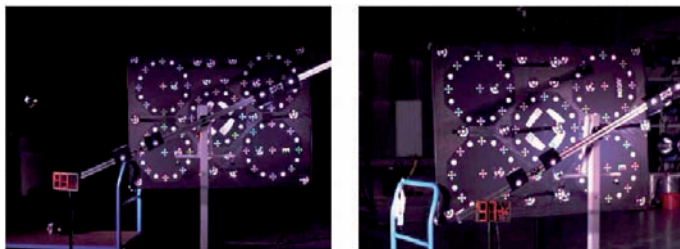


Abb. 10: Synchronisationsversuche mit zwei Kameras.

Konzeption und dem Bau eines sogenannten Synchronometers, einer Crashuhr bestehend aus LED-Laufzeilen mit vorprogrammierter Taktung, mit deren Hilfe mögliche Asynchronitäten direkt im Bild aus der abgebildeten Konfiguration der Leuchtdioden abgeleitet werden können.

Als Alternative ermöglicht auch ein Stereospiegelvorsatz die Herstellung von synchronen Videosequenzen ohne elektronische Hilfsmittel, da nur eine Kamera zur Bildaufnahme eingesetzt wird (vgl. LUHMANN 2005 und z. B. HASTEDT et al. 2005). Zwar halbiert sich durch die Nutzung des Spiegelvorsatzes das nutzbare Bildformat, durch die Beschränkung auf nur eine High-speedkamera ergibt sich aber eine sehr wirtschaftliche Lösung und ein absolut synchron aufnehmendes Messsystem.

Am IPI wurde allerdings ein anderer Weg eingeschlagen und ein neues Verfahren zur dreidimensionalen photogrammetrischen Auswertung asynchron aufgenommener Bildsequenzen mittels Punktverfolgungsverfahren entwickelt (siehe RAGUSE 2007). Dabei sind keine Hardwarekomponenten zur Synchronisation der Kameras oder zur Messung der Asynchronität erforderlich. Das Verfahren beruht auf der Synchronisation der Punktmessungen in den Bildsequenzen. Die Asynchronität wird in Form einer Korrekturfunktion modelliert und in das Modell der photogrammetrischen Bündelausgleichung aufgenommen. Auf diese Weise können die Objektkoordinaten zuverlässig bestimmt und der Einfluss einer möglichen Asynchronität rechnerisch kompensiert werden.

3.3 Mehrmediengeometrie

Innerhalb der Fahrzeugsicherheitsversuche werden auch High-Speed Filme des Versuchsfahrzeugs vom Fahrzeugboden und den Aggregaten aufgenommen (siehe Abb. 11). Diese Aufnahmen erfolgen von unten aus einer Photogrube durch eine ca. 90 mm dicke Plexiglasscheibe.

In weitergehenden Untersuchungen wurde die spezielle Mehrmediengeometrie (siehe auch KOTOWSKI 1987 und BACHMANN 2000) bei der Messung aus der Photogrube berücksichtigt und das geometrische Modell der Zentralperspektive um die Einflussgrößen der Strahlveränderung beim Durchtritt durch die Plexiglasscheibe erweitert (vgl. ROLAND 2007). Durch die Berücksichtigung der Mehrmediengeometrie im Ausgleichungsansatz konnte der mittlere Punktfehler wesentlich verringert werden und die geforderte Grenze von ± 5 mm eingehalten werden.

4 Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurden praxisorientierte Lösungen vorgestellt, die in den letzten 10 Jahren am IPI entwickelt wurden und den Einsatz der Nahbereichsphotogrammetrie in speziellen Anwendungen der Automobilindustrie optimieren und damit die Akzeptanz bei den Nutzern wesentlich steigerten. Die systematischen Untersuchungen in der hochpräzisen Punktbestimmung führten zu einer Verbesserung der Systemmaßstäbe und der Punktsignalisierung sowie einer Erweiterung des Kameramodells in der Bündelausgleichung.

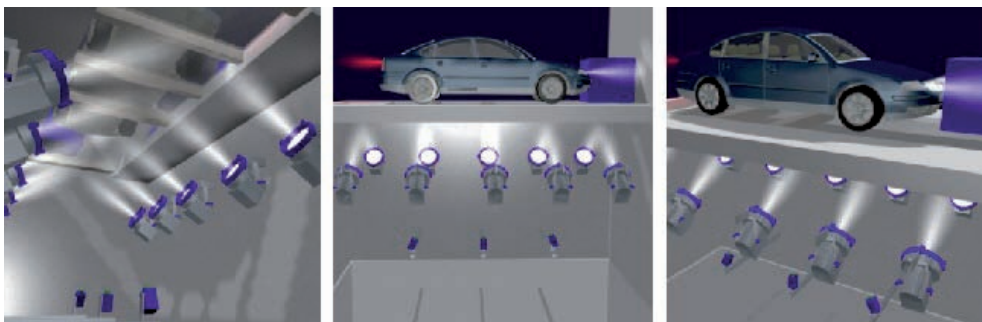


Abb. 11: Abstrahierte Darstellung der Fotogrube in der Versuchshalle.

delausgleichung. Mit praxisrelevanten Kenngrößen können Teilprozesse der photogrammetrischen Messkette eingeschätzt und geometrisch nachvollziehbare Messaufbauten erstellt werden.

Im Bereich der Bildsequenzauswertung wurden Vorschläge zur Optimierung der Aufnahmekonfiguration, der Stabilisierung der Messanordnungen durch zusätzliche Verknüpfungspunkte und Lösungen zur Berücksichtigung asynchron aufnehmender Kameras erarbeitet.

5 Danksagung

Der Autor möchte sich an dieser Stelle bei den Projektpartnern für die kooperative Zusammenarbeit bedanken. Die Projektpartner aus der deutschen Automobilindustrie sind die Volkswagen AG, die Dr.-Ing. h.c. F. Porsche AG, die Audi AG, die BMW AG und die Daimler Chrysler AG.

Aufgrund der erfolgreichen Kooperation wurden in den vergangenen Jahren wiederholt Geodäsie-Ingenieure der Leibniz Universität Hannover mit dem Schwerpunkt Nahbereichsphotogrammetrie in den verschiedenen Abteilungen der Geräteanbieter und der Automobilindustrie eingestellt. Dieser enge Kontakt zu den Anbietern und Nutzern der optischen Messtechnik wird auch in Zukunft dazu führen, dass zielführende Verfahrens- und Geräteentwicklungen in enger Kooperation mit dem Institut für Photogrammetrie und GeoInformation durchgeführt werden können.

Literatur

- ANDRÄ, P. & PEIPE, J., 2002: Zur Erfassung von Freiformflächen mit Streifenprojektionssystem und digitaler Nahbereichsphotogrammetrie. – Publikationen der DGPF **11**: 201–206.
- BACHMANN, M., 2000: Beitrag zur Verbesserung der Genauigkeitskenngrößen von Großmanipulatoren im Mehrmedieneinsatz mit Hilfe der digitalen Photogrammetrie, Leibniz Universität Hannover. – Fachbereich Maschinenbau, Dissertation.
- DOLD, J., 1997: Ein hybrides photogrammetrisches Industriemesssystem höchster Genauigkeit und seine Überprüfung. – Schriftenreihe Studiengang Vermessungswesen, Universität der Bundeswehr **54**, München.
- DREYER, J., 2003: Untersuchungen zur Steigerung des Genauigkeitspotenzials des photogrammetrischen Messsystems TRITOP der Firma GOM mbH. – Unveröffentlichte Diplomarbeit am Institut für Photogrammetrie und GeoInformation, Universität Hannover.
- ERNST, H., 2002: Eignung dreidimensionaler photogrammetrischer Verfahren in Sicherheitsversuchen. – Diplomarbeit am Institut für Photogrammetrie und GeoInformation, Universität Hannover, www.ipi.uni-hannover.de/fileadmin/institut/pdf/da-ernst.pdf (Mai 2008).
- GÜLKER, C., 2004: Untersuchungen zur Kalibrierfähigkeit und Praxistauglichkeit von unterschiedlichen Messmarkentypen in Maßstäben zur Genauigkeitssteigerung bei photogrammetrischen Messungen. – Diplomarbeit am Institut für Photogrammetrie und GeoInformation, Universität Hannover, www.ipi.uni-hannover.de/fileadmin/institut/pdf/Diplomarbeit_Guelker.pdf (Mai 2008).
- HAIG, C., HEIPKE, C. & WIGGENHAGEN, M., 2006: Lens inclination due to instable fixings detected and verified with VDI/VDE 2634 Part I. – International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences **36** (5), auf CD.
- HAIG, C., HEIPKE, C. & WIGGENHAGEN, M., 2007: Ein neuer gravitationsrichtungsabhängiger Parameter für die Innere Orientierung zur Kompensierung von Neigungen am Objektivanschluss. – Photogrammetrie – Laserscanning – Optische 3D-Messtechnik. Beiträge der Oldenburger 3D-Tage. Wichmann Verlag, Heidelberg, 44–51.
- HASTEDT, H., LUHMANN, T. & RAGUSE, K., 2005: Three-dimensional acquisition of high-dynamic processes with a single-camera system and stereo-beam splitting. – 7th Conference on Optical 3-D Measurement Techniques, 10 pages, on CD.
- ISO, 2002: Road Vehicles – Measurement Techniques in impact tests – Optical Instrumentation. – ISO/DIS 8721. – Erweiterte Version. Stand November 2002. International Organization of Standardization.
- KOTOWSKI, R., 1987: Zur Berücksichtigung lichtbrechender Flächen im Strahlenbündel. – DGK Reihe **C 330**, München.
- LUHMANN, T. & WENDT, K., 2000: Recommendations for an acceptance and verification test of optical 3-D measurement systems. – International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing **33** (B5): 493–500.

- LUHMANN, T. & GODDING, R., 2004: Messgenauigkeit und Kameramodellierung – Kernfragen der Industriephoto­grammetrie. – Photo­grammetrie – Fernerkundung – Geoinformation **2004** (1): 13–21.
- LUHMANN, T., 2005: Zum photogrammetrischen Einsatz von Einzelkameras mit optischer Stereostrahlteilung. – Photo­grammetrie – Fernerkundung – Geoinformation **2005** (2): 101–110.
- RAUTENBERG, U. & WIGGENHAGEN, M., 2002: Abnahme und Überwachung photogrammetrischer Messsysteme nach VDI 2634, Blatt 1. – Photo­grammetrie – Fernerkundung – Geoinformation **2002** (2): 117–124.
- RAUTENBERG, U., 2000: Untersuchungen zur Zertifizierung photogrammetrischer Messsysteme nach VDI 2634, Blatt 1 mittels Einsatz von Längennormalen. – Diplomarbeit am Institut für Photo­grammetrie und GeoInformation, Universität Hannover, www.ipi.uni-hannover.de/fileadmin/institut/pdf/Rautenberg.pdf (Mai 2008).
- RAGUSE, K. & WIGGENHAGEN, M., 2003a: Qualitative Beurteilung photogrammetrischer Aufnahmekonstellationen im Nahbereich. – Oldenburg, Wichmann Verlag, 43–50.
- RAGUSE, K. & WIGGENHAGEN, M., 2003b: Beurteilung der Optischen Messkette durch Simulation der Aufnahme­konfiguration. – Publikationen der DGPF **12**: 275–283.
- RAGUSE, K., 2007: Dreidimensionale photogrammetrische Auswertung asynchron aufgenommener Bildsequenzen mittels Punktverfolgungsverfahren. – DGK **C 602**, München. – Ebenfalls in: Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Geodäsie und Geoinformatik der Leibniz Universität Hannover **265**.
- RIEKE-ZAPP, D., PEIPE, J. & TECKLENBURG, W., 2008: Schrauben, kitteln, kleben – Zur Stabilität digitaler Kameras. – Photo­grammetrie – Laser-scanning – Optische 3D-Messtechnik, Beiträge der Oldenburger 3D Tage 2008, Wichmann Verlag, 63–70.
- ROLAND, M., 2007: Photo­grammetrische Auswertung der Aggregatbewegung im Sicherheitsversuch aus einer Fotogrube. – Diplomarbeit am Institut für Photo­grammetrie und GeoInformation, Leibniz Universität Hannover. www.ipi.uni-hannover.de/fileadmin/institut/pdf/2007-05-22-Roland_Diplomarbeit.pdf (Mai 2008).
- VDI/VDE, 2002: VDI/VDE 2634, Optische 3D-Messsysteme VDI/VDE-Richtlinie, Blatt 1–2. – Beuth Verlag, Berlin.
- WIGGENHAGEN, M. & RAGUSE, K., 2003: Entwicklung von Kenngrößen zur Qualitätsbeurteilung optischer Prozessketten. – Photo­grammetrie – Fernerkundung – Geoinformation **2003** (2): 125–134.

Anschrift des Autors:

Dr.-Ing. MANFRED WIGGENHAGEN, Leibniz Universität Hannover, Institut für Photo­grammetrie und GeoInformation (IPI), 30167 Hannover, Tel.: +49-511-762-3304, Fax: +49-511-7623-2483, e-mail: wigge@ipi.uni-hannover.de

Manuskript eingereicht: April 2008

Angenommen: Juni 2008

Einsatz von Change Detection Methoden zur Fortführung von DeCOVER Objektarten

OLAF BÜSCHER, OLIVER BUCK, Münster; PETER LOHMANN, PETER HOFMANN, SÖNKE MÜLLER, Hannover, ROBERT SCHENKEL, Dresden & CHRISTIAN WEISE, München

Keywords: Fernerkundung, Landcover, Change Detection, Change Indication, Segmentation

Summary: *Change Detection for Updating DeCOVER Object Classes.* Advancing technical means – just consider the current satellite systems RapidEye or TerraSAR-X – as well as new European legislation such as the Water Framework Directive or INSPIRE bringing new reporting obligations, lead to continuously increasing geoinformation demand by administrative authorities. Existing geospatial information systems such as the German Authoritative Topographic and Cartographic Information System (ATKIS®) or the European CORINE Land Cover (CLC) can not fully meet this demand, bringing the focus to current studies and developments to update and refine these geodata. The project aim is to develop a concept to establish and update land cover and land use information via geospatial web services based on up-to-date remote sensing information.

This article presents the fundamental aspects and latest results of the DeCOVER project, such as the sequential processing chain. It focuses on the developed change detection methodology, which is an integral part of DeCOVER. Different change indicators are implemented based on a comparison of the input satellite data of different dates. These indicators in combination with a transition-probability-matrix are used to limit the new possible classes and control the subsequent recursive processing to verify the indicated changes according to the probabilities of change. The results of the proposed object-based change detection process chain are compared to change-detection results obtained by completely visual interpretation. Finally all results are assembled to a resultant change indication map.

Zusammenfassung: Fortschreitende technische Möglichkeiten – man denke an die aktuellen Satellitensysteme RapidEye oder TerraSAR-X – und neue rechtliche Vorgaben wie europäische Berichtspflichten oder die Rahmengesetzgebung INSPIRE führen zu kontinuierlich steigenden Anforderungen an Geoinformation durch betroffene Fachbehörden. Diesem neuen Bedarf werden die bestehenden Datensätze wie das Amtliche Topographisch-Kartographische Informationssystem (ATKIS®) oder CORINE Land Cover (CLC) nicht gänzlich gerecht, so dass Aktualisierung und Verfeinerung zur Unterstützung der bestehenden Geodaten aktuell im Fokus stehen. Vor diesem Hintergrund startete Anfang 2006 ein Konsortium bestehend aus elf Mitgliedern die Arbeit zum Projekt DeCOVER. Das Projektziel ist die Entwicklung eines Konzeptes zur Erstellung und Fortführung von Landbedeckungs- bzw. Landnutzungsdaten über Geoinformationsdienste auf Grundlage von Fernerkundungsdaten.

Im vorliegenden Artikel werden grundlegende Projektinformationen und Ergebnisse der Verbundarbeit wie das auf einer sequentiellen Prozesskette basierende Kartierverfahren vorgestellt. Der Fokus liegt in der Darstellung der Change Detection-Methodik, die als integraler Bestandteil des DeCOVER Fortführungskonzeptes entwickelt wurde. Im Fortführungskonzept werden Veränderungsindikationen basierend auf Fernerkundungsdaten verschiedener Aufnahmezeitpunkte erstellt. Die Indikatoren führen gemeinsam mit einer Übergangs-Wahrscheinlichkeitsmatrix zu einer Detektion und thematischen Einschätzung möglicher Veränderungen. Die Ergebnisse der vorgeschlagenen objekt-basierten Change Detection Verarbeitungskette werden verglichen mit Resultaten aus einer rein visuellen Interpretation von Veränderungen. Nach der Veränderungserfassung stehen die Ergebnisse in einem Veränderungslayer mit entsprechenden Veränderungsindikationen zur Verfügung.

1 Projekthintergrund

Der Interministerielle Ausschuss für Geoinformationswesen (IMAGI) urteilt: „Betroffen vom Thema Geoinformation sind, wenn auch in unterschiedlicher Intensität, sämtliche Ressorts der Bundesverwaltung.“ (vgl. IMAGI 2008). Diese Aussage ist in ähnlicher Form auch auf die Länder- und Regionalebene zu übertragen. Insbesondere neue rechtliche Vorgaben führen bei den gesetzlich beauftragten Fachbehörden zu einem wachsenden Bedarf an räumlich differenzierter Information zur Erdbeobachtung und Berichterstattung. So ist inzwischen durch die INSPIRE-Initiative (Infrastructure for Spatial Information in Europe) von europäischer Seite der gesetzliche Rahmen für die Vernetzung und Harmonisierung vorhandener Geodaten festgeschrieben, den es in den kommenden Jahren auf nationaler Ebene auszufüllen gilt. Darüber hinaus definieren bestehende und zukünftige europäische Direktiven mit spezifischen Berichtspflichten konkrete Anforderungen an Geoinformation in den Bereichen Agrar, Umwelt, Wasser, Bodenschutz, Naturschutz sowie Raumplanung (CHEN et al. 2004). Ak-

tuelle und dem Informationsbedarf angepasste Landbedeckungsdaten sind für viele öffentliche Aufgaben daher essentiell. Diesem Informationsbedarf begegnet das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) über das von dem Projektträger Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) teilfinanzierte Projekt DeCOVER. Mit DeCOVER (vgl. DeCOVER 2008) wird ein Dienstekonzept entwickelt, das dem Portfolio der nationalen Geodatenbasis mit Hilfe von Fernerkundungsdaten eine weitere neue Stärke hinzufügen kann. Diese neue Stärke liegt nicht nur in der Ergänzung der Geodatenlandschaft allein, sondern auch in einer Art Schnittstellenfunktion. Die DeCOVER-Objektarten sind so spezifiziert, dass eine maximale semantische Interoperabilität zu den bestehenden Katalogen wie CLC und ATKIS erreicht wird. Darauf aufbauend können die Fortführungen der angesprochenen Kataloge unterstützt und somit Synergieeffekte erzielt werden. Das DeCOVER-Konsortium besteht aus insgesamt elf Partnern, die ihre Expertise auf verschiedenen Gebieten im Bereich Fernerkundung und Geoinformation beisteuern, wie in Tab. 1 dargestellt ist.

Tab. 1: Die DeCOVER-Konsortialpartner und ihre Expertisen.

Partner	Aufgabe
Definiens AG	SW Unterstützung, objekt-basierte Bildanalyse & Klassifikation von Wasserflächen
DELPHI IMM GmbH	Interoperabilität, Verbindung zu INSPIRE
DLR (assoziiertes Partner)	Unterstützung urbane Flächen und SAR-Prozessierung
EFTAS GmbH	Koordination, Landwirtschaft
GAF AG	Validierung, Forstwesen
H.G. GDS GmbH	Change Detection, SAR-Anwendungen, Urbane Gebiete
Infoterra GmbH	Dienste-Spezifikation, Wirtschaftlichkeitsanalyse, Verbindung zu GMES
IPI, LUH	Innovation, Qualitätskontrolle
Jena-Optronik GmbH	Ko-Registrierung von SAR und optischen Bildern
RapidEye AG	Umsetzung Spezifikation und Design der Prozesskette, Integration der Teilergebnisse
RSS RemoteSensing Solutions GmbH	Natur- und Landschaftsschutz (Offenland naturnah)

Im Rahmen der europäischen Initiative GMES (Global Monitoring of Environment and Security) wurden bereits Dienste zur Bereitstellung raumrelevanter Daten zur Erdbeobachtung und Berichterstattung auf europäischer Anforderungsebene definiert, demonstriert und implementiert (DWORAK et al. 2005). DeCOVER nimmt als nationales Projekt die GMES Entwicklungen und Standards auf und führt sie auf nationaler Ebene weiter.

2 DeCOVER Dienstkonzept

Das vom Konsortium entwickelte DeCOVER-Konzept beinhaltet einen sog. Ausgangs- und Ergänzungsdienst. Die folgenden Ausführungen beziehen sich auf den Ausgangsdienst, der wiederum in die Komponenten *Kartierung* und *Änderungsflächen* unterscheidet. Während die Komponente *Kartierung* die Erstellung originärer Daten gewährleistet, wird mit der Komponente *Änderungsflächen* eine Methode zur effizienten Aktualisierung von DeCOVER Daten

ermöglicht (vgl. DeCOVER 2008). Neben der Methodik zur Änderungserkennung (Change Detection) bilden Arbeiten zur Erkennung und Definition der semantischen Interoperabilität zwischen DeCOVER und bestehenden Datensätzen (z. B. ATKIS, CLC und BNTK) die Kernaspekte der Entwicklungen in DeCOVER. Beide Ausgangsdienstkomponenten bieten damit auch das Potenzial zur Unterstützung (im Sinne von Ergänzung und Fortführung) bestehender Geodatenätze. Eine Prämisse für die Entwicklungen zum Ausgangsdienst sieht die Nutzung von Fernerkundungsdaten mit einer Auflösung von fünf Metern als Basisdaten vor. Entsprechend wird der Arbeitsmaßstab im Bereich von 1:25.000 festgelegt. Damit ordnet sich DeCOVER bezüglich der thematischen und räumlichen Datenspezifikationen zwischen GMES und ATKIS ein. In der DeCOVER Ausgangsdienst-Komponente *Kartierung* wurde für die Kartierung der Ausgangsdienstobjektarten eine Prozesskette mit sequentieller Bildsegmentierung und Klassifizierung entwickelt (vgl.

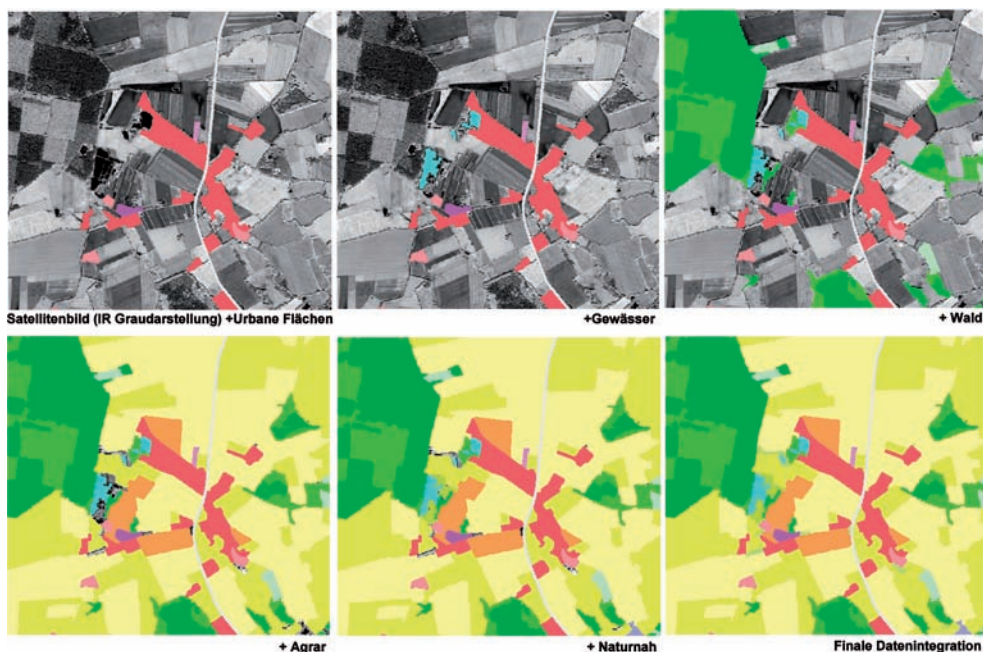


Abb. 1: Sequentieller Durchlauf der Prozesskette für den DeCOVER Ausgangsdienst. Links ursprüngliche Bilddaten. Rechts (von links oben nach rechts unten) sequentieller Durchlauf der Prozesskette.

BÜSCHER et al. 2007). Dabei werden auf dem Weg vom Satellitenbild zum Datensatz fünf Objektkategorien (thematische Zwischenprodukte, TZP) nacheinander – also sequentiell – durch verschiedene Partner kartiert (vgl. Abb. 1). Entsprechend werden zunächst *Urbanflächen* erfasst, bis am Ende der Prozesskette nach dem Durchlaufen von *Gewässer*, *Wald*, *Agrar* und *Naturnah* die Daten durch einen abschließenden Integrations-schritt konsistent aufbereitet werden.

Über die Komponente *Änderungsflächen* soll eine effiziente und kostengünstige Aktualisierung, d. h. Fortführung der DeCOVER Kartierung ermöglicht werden. Die Basis hierzu bilden Methodenentwicklungen zur indikator-basierten Erkennung von Landbedeckungsveränderungen auf Grundlage automatisierter Satellitenbildverarbeitung und -analyse, die in DeCOVER unter dem Begriff *Change Detection (CD)* geführt werden. Der Ansatz beinhaltet sowohl manuelle, als auch automatische Bildanaly-seschritte, die in der Erzeugung eines sogenannten *Change Layers* münden. Dieser Layer beinhaltet jene Flächen bzw. Objekte, die offensichtlich eine Veränderung erfahren haben und führt zudem eine Aussage zur Art der wahrscheinlichen geometrischen und attributiven Veränderung mit.

3 Change Detection Konzept

Eine Möglichkeit zur Veränderungserkennung ist durch die vergleichende Analyse zweier unabhängig voneinander und zu verschiedenen Zeitpunkten erzeugten Interpretationen gegeben. Allerdings setzt dieser Ansatz mindestens zwei Gesamtkartierungen des zu analysierenden Gebiets voraus. Im Gegensatz hierzu basiert der im DeCOVER Konzept primär verfolgte Ansatz auf der Analyse multitemporaler Fernerkundungsdaten (SINGH 1989). In diesem Fall werden Veränderungen, die mögliche geometrische und attributive Änderungen aufzeigen, durch die Bilddaten direkt oder indirekt indiziert. Die indizierten Veränderungen beziehen sich auf Objekte in einer bereits bestehenden Datenbank. Dabei erfolgt der Vergleich der Bilddaten zunächst auf Pixel-

Ebene, so dass dadurch eine pixelbasierte Indikation von Landnutzungs- und Landbedeckungsveränderungen gegeben ist. Die Vielzahl der Methoden für den Vergleich von Bildern unterschiedlicher Aufnahmezeitpunkte kann grob in drei Gruppen eingeteilt werden: in Methoden, die univariat den Bildvergleich nutzen (SINGH 1989, FUNG 1990), in Methoden, die abgeleitete Vegetationsmerkmale wie z. B. den NDVI oder die Tasseled Cap-Transformation vergleichen und in Änderungsvektorenanalysen (LAMBIN 1994, BRUZZONE et al., 2002). Einen umfangreichen Überblick über pixelbasierte Methoden, ihre Vor- und Nachteile und ihrer Qualität bieten LU et al. (2004). Bezieht man diese pixelbasierten Indikationen auf Objekte, ist ein Ansatz zur Integration und Validierung dieser Indikationen nötig. Es gibt verschiedene Möglichkeiten diesen Ablauf zu implementieren. Einige werden u. a. bei GERKE et al. (2004), BUSCH et al. (2005) und SCHÖPFER (2005) vorgestellt. Das Konzept zur Erstellung des *Change-Layers* in DeCOVER sieht verschiedene Prozessierungsschritte vor: In einem ersten *Fokussierungsschritt* werden zunächst die genutzten Bilddaten in der Form aufbereitet, dass erste Aussagen zu potenziell veränderten Flächen getroffen werden können. Dies beinhaltet neben notwendigen Vorprozessierungsschritten die generelle Detektion von Veränderungsflächen, sowie eine Einschätzung, welche Veränderung stattgefunden haben könnte. Hierzu kann eine Übergangswahrscheinlichkeitsmatrix (T_p -Matrix) mit herangezogen werden, um eine Aussage über die a priori wahrscheinlichste Veränderung treffen zu können. Entsprechend enthält die T_p -Matrix für jede Objektart die auf Expertenwissen basierende a priori Wahrscheinlichkeit zur Änderung in eine der übrigen Objektarten. Diese objektweise Einschätzung der Veränderung kann bereits als potenzielles *Change-Produkt* verwendet werden.

Auf Basis der aus den Bilddaten abgeleiteten, pixelweisen Indikationen erfolgt anschließend eine Sub-Segmentierung des ursprünglichen (DeCOVER-)Datensatzes, so dass dadurch Flächen homogener (Nicht-)

Veränderung innerhalb der Grenzen der ursprünglichen Kartierung entstehen und als Veränderungs- oder Nicht-Veränderungsflächen ausgewiesen werden (binäre Change-Maske). Die in der Fokussierung getroffenen Annahmen zur Art der Veränderung werden anschließend im Idealfall mit für die jeweilige Objektart geeigneten Verfahren zur Bildsegmentierung und Klassifikation abgeglichen. Liegen für die Veränderungserfassung geeignete Verfahren vor, so wird die Veränderung entsprechend automatisch bearbeitet, so dass die angenommene Veränderung verifiziert bzw. falsifiziert wird. Dabei gibt es unterschiedliche Möglichkeiten, wie ein Objekt von einer relevanten Veränderung betroffen sein kann: rein attributive Veränderungen, rein geometrische Veränderungen, oder geometrische und attributive Veränderungen. Kann trotz einer indizierten Veränderung keine der angenommenen Veränderungen verifiziert werden, oder liegt kein automatisches Verfahren zur Erfassung vor, so erfolgt eine manuelle bzw. visuelle Überprüfung und ggfs. eine manuelle Erfassung der Veränderung. Die Ergebnisse aus manueller und automatischer Veränderungserfassung werden schließlich zu einem Change-Layer zusammengeführt, der sowohl geometrische, als auch attributive Information zur detektierten Veränderung enthält. Konnte lediglich eine Veränderung festgestellt werden, diese aber thematisch nicht zugeordnet werden, dann wird diese Veränderung zwar ausgewiesen aber als „nicht zuordenbar“ markiert. Darüber hinaus beinhaltet der Change-Layer für jede erfasste Veränderung quantitative und qualitative Aussagen über die Abschätzung der Veränderung, so dass der Change-Layer entsprechend für eine fokussierte Aktualisierung bestehender Geodaten genutzt werden kann.

3.1 Fokussierungsmodul

Im Fokussierungsmodul erfolgt die Verortung von Veränderungen und die Entscheidung über die weitere Bearbeitung durch automatische oder manuelle Methoden. Um falsche, durch jahreszeitliche, atmosphäri-

sche oder aufnahmebasierte Effekte hervorgerufene Veränderungsindikationen zu vermeiden, durchlaufen die genutzten Bilddaten zunächst verschiedene Vorverarbeitungsschritte, wie Koregistrierung, Atmosphärenkorrektur, Bildnormalisierung und Ausmaskierung von Wolken- und Schattenbereichen. Trotz dieser integrierten Vorverarbeitung können jedoch einige Fehlindikationen, die in hochauflösenden Daten (IKONOS, QuickBird, SPOT5) z. B. durch die unterschiedliche Länge und Richtung von Gebäudeschatten hervorgerufen werden, nicht gänzlich ausgeschlossen werden (Veränderungsrauschen). Zur Lokalisierung möglicher Veränderungen werden für die aufbereiteten Bilddaten eines Sensors zunächst pixelbasierte Veränderungs-Indikatoren generiert und es wird geprüft, ob unter Berücksichtigung der zeitlich älteren Objektebene (t_0) eine Veränderung beobachtet werden kann. Aus der Vielzahl möglicher Indikatoren (LU et al. 2004) wurde bislang eine Auswahl untersucht, die auf der Hauptachsentransformation, den Textur-Operatoren nach Haralick und der Differenzbildung basiert. Im Hinblick auf die Eignung zur Segmentierung von Veränderungsflächen zeigten die Untersuchungen, dass die rein auf dem Signalunterschied basierenden Indikatoren (zeitliche spektrale Differenzen auf Basis der Bilddaten zum Zeitpunkt t_0 und t_1 , Hauptkomponenten auf Basis der Bilddaten zum Zeitpunkt t_0 und t_1) sehr hoch miteinander korreliert sind, so dass so gut wie keine Unterschiede im tatsächlichen Informationsgehalt für die Segmentierung von Veränderungsflächen erkennbar sind. Ebenso gering war der Informationsgehalt entsprechender Indikatoren abgeleitet aus Textur-Parametern nach Haralick (vgl. LOHMANN et al. 2008 und HOFMANN et al. 2008).

Aufgrund der dargestellten Erkenntnisse werden zur Erfassung der Veränderungsflächen innerhalb der Objektgrenzen zum Zeitpunkt t_0 die normierten spektralen Differenzen der Bilddaten zum Zeitpunkt t_0 und t_1 als pixel-basierte Indikator-Bilder herangezogen, so dass jedes Pixel eines Kanals die normierte spektrale Differenz des Kanals

enthält, wobei die Differenz nicht absolut, sondern entsprechend der radiometrischen Auflösung des Sensors dargestellt wird, also im Falle von 8bit von -255 bis $+255$. Die Erfassung der Veränderungsflächen erfolgt zunächst mittels Multiresolution-Segmentation-Verfahren nach Baatz & Schäpe (vgl. BAATZ & SCHÄPE 2000), wobei die normierten Differenzen je Kanal als die zu segmentierenden Bilddaten verwendet werden. Da das Multiresolution-Segmentation-Verfahren auf Kontrast (hier also dem räumlichen Unterschied der normierten spektralen Differenz zwischen den Bilddaten zum Zeitpunkt t_0 und t_1) und Homogenität im Sinne von Farbe (hier also der normierten spektraler Differenz) und Form basiert, werden dadurch Flächen homogener spektraler Veränderung und homogener Form innerhalb der Objektgrenzen der Kartierung zum Zeitpunkt t_0 erzeugt. Das Homogenitätskrite-

rium wird beim Multiresolution-Segmentation-Verfahren indirekt durch den sogenannten Scale Parameter gegeben, der entsprechend als Schwellwert fungiert und vom Anwender zu setzen ist. Zur Bildung des Schwellwerts kann der Anteil der Farb- und Formhomogenität gewichtet werden. Durch die Multiresolution-Segmentation kommt es im Sinne einer Erfassung von indizierten Veränderungsflächen zunächst zu einer Übersegmentierung, so dass in einem weiteren Schritt entsprechend der Differenz der Indikator-Mittelwerte der Segmente benachbarte Segmente wieder zusammengefasst werden (Spectral Difference Verfahren, vgl. DEFINIENS 2008a, siehe Abb. 2). Wie in Abb. 2 durch die Farbmischung der normierten Differenzen zu erkennen ist, werden spektrale Zunahmen in den Kanälen hell dargestellt, so dass die Helligkeit den Grad der spektralen Zunahme widerspiegelt.

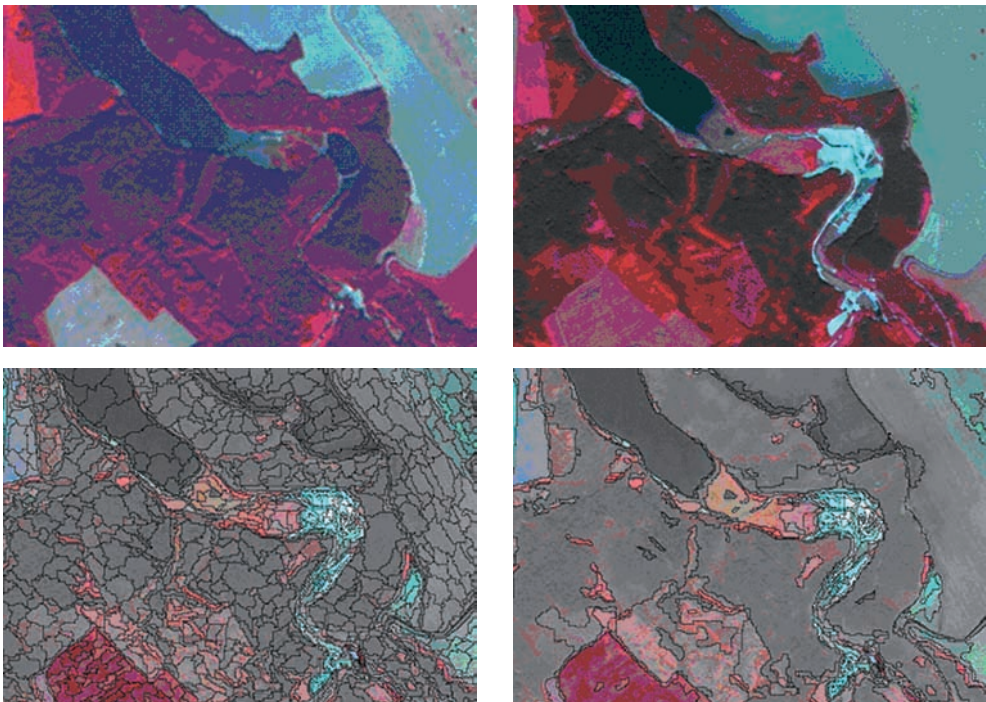


Abb. 2: Segmentierung auf Basis der Indikator-Bilder. L.o.: Bilddaten zum Zeitpunkt t_0 . R.o.: Bilddaten zum Zeitpunkt t_1 . L.u.: generierte Segmente mittels der Multiresolution-Segmentation auf Basis der normierten spektralen Differenz zwischen t_0 und t_1 . R.u.: generierte Segmente nach anschließender schwellwert-basierter Zusammenfassung (Spectral Difference). Hintergrund (unten): Differenz des normierten SPOT 5 Grün-, Rot- und NIR-Kanals in BGR.

Entsprechend dunkel werden Gebiete mit einer Abnahme in den Kanälen dargestellt. Die Farbe ist dann gegeben durch den Anteil der Zu- oder Abnahme eines Kanals. Für die Bildung der Segmentgrenzen bedeutet dies, dass sie dort entstehen, wo eine deutliche Änderung der Zu- oder Abnahme in den Kanälen auftritt und gleichzeitig die Zu- oder Abnahme innerhalb des Segments homogen ist. Kritisch bei dieser Vorgehensweise ist die Parametrisierung des Segmentieralgorithmus zu sehen, da diese nicht nur von den verwendeten Bilddaten, sondern auch von der Aufgabenstellung abhängt.

Bei der bisherigen Realisierung des Konzepts wurde für die Erstellung potenzieller Veränderungsflächen auf die Multiresolution Segmentation und anschließende Fu-

sionierung mittels Spectral Difference, wie oben beschrieben, zurückgegriffen. Im Sinne einer räumlichen Objekt-Hierarchie (vgl. DEFINIENS 2008b) entstehen somit auf oberster Ebene die originären Segmente der ursprünglichen DeCOVER-Kartierung zum Zeitpunkt t_0 , in der mittleren Ebene spektral homogene Segmente im Sinne der normierten Differenz, und in der untersten Ebene homogene Segmente im Sinne der normierten Differenz und der Form. Diese können bei der anschließenden Klassifikation der Veränderungen für eine weitere Strukturanalyse herangezogen werden, wie in Abschnitt 3.2. gezeigt wird. Für die so generierten Veränderungs-Segmente steht nun das gesamte Portfolio der objekt-basierten Bildanalyse zur Verfügung (vgl. BENZ, U. et al. 2004).

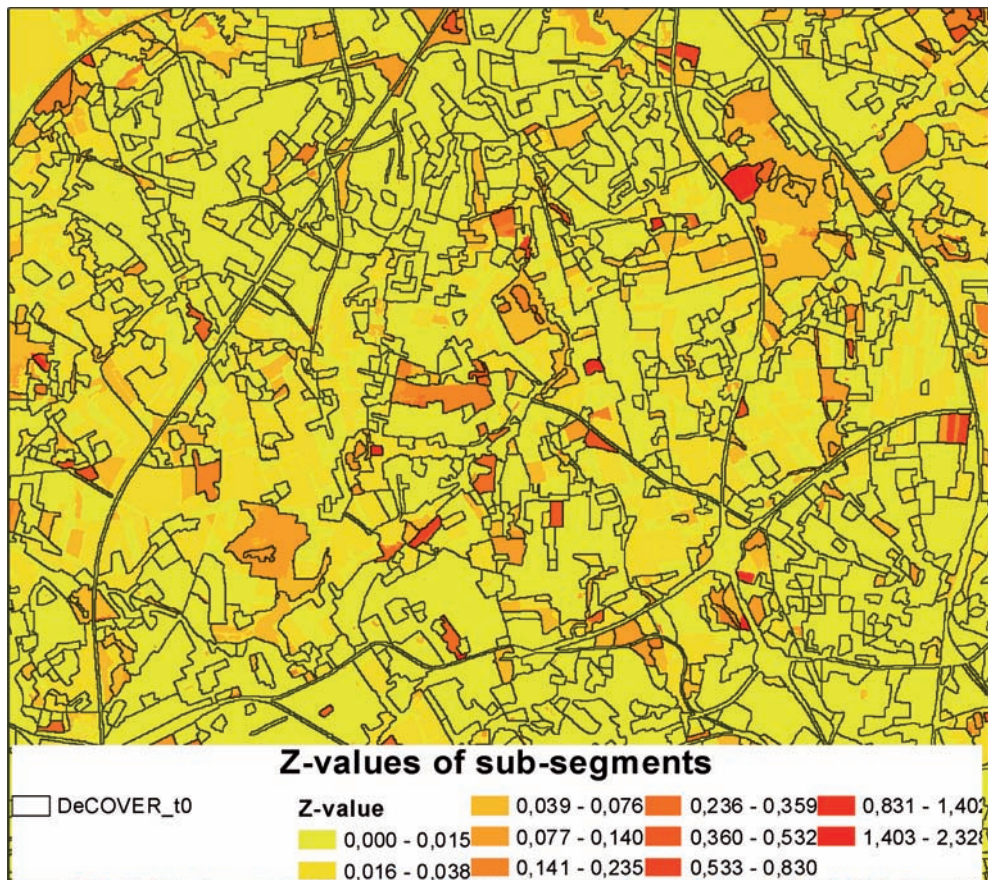


Abb. 3: Segmentbasierte Z-Werte innerhalb der DeCOVER-Ursprungskartierung (Testgebiet Herne).

Zur binären Ausweisung der generierten Veränderungs-Segmente als *verändert* oder *nicht-verändert* werden zum einen die Zu- oder Abnahme der spektralen Mittelwerte pro Segment und zum anderen die Z-Werte je Segment herangezogen. Dabei handelt es sich um ein modifiziertes Verfahren, wie in (KOELN & BISSONNETTE 2000) beschrieben wird. Für den Z-Wert werden einzelne Objektmerkmale über verschiedene (temporale) Aggregationsebenen miteinander verglichen, wobei im vorliegenden Fall die gebildeten Sub-Segmente (Sub-Objekte) mit der ursprünglichen DeCOVER-t0-Kartierung (Super-Objekte) verglichen werden. Hierzu werden die Kanalmittelwerte und die Mittel-

werte des NDVI als Vergleichsmerkmale i herangezogen (vgl. Gleichung (1) und Abb.3).

$$Z_i = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{v_{i_{t1}} - \mu_{i_{t0}}}{(\sigma_{i_{t0}})^2} \right)^2} \quad (1)$$

mit:

$v_{i_{t1}}$ = Mittelwert des Merkmals i des Sub-Objekts zum Zeitpunkt $t1$.

$\mu_{i_{t0}}$ = Mittelwert des Merkmals i des Super-Objekts zum Zeitpunkt $t0$.

$\sigma_{i_{t0}}$ = Standardabweichung des Merkmals i des Super-Objekts zum Zeitpunkt $t0$.

n = Anzahl der Merkmale.



Abb. 4: Binäre Change-Maske (rot umrandet = verändert) überlagert mit dem Differenz-Bild und der ursprünglichen DeCOVER-t0-Kartierung (graue Linien).

Die automatisierte binäre Ausweisung der Veränderungsflächen erfolgt schließlich schwellwert-basiert anhand der Zu- oder Abnahme der Kanal-Mittelwerte, der relativen Zu- oder Abnahme der Kanal-Mittelwerte eines Segments, sowie des modifizierten Z-Werts. Entsprechend werden in einem ersten Schritt verschiedene Veränderungsarten anhand der spektralen Veränderungen und der Z-Werte als Veränderungsklassen ausgewiesen und die betreffenden Segmente entsprechend den Klassen zugewiesen. Aus der so entstehenden Vielzahl von Veränderungsklassen entsprechen jedoch nur wenige einer tatsächlichen Veränderung. Dem gemäß werden Klassen, die keiner tatsächlich beobachtbaren Veränderung entsprechen manuell wieder gelöscht und die betroffenen Segmente als *nicht-verändert* markiert. Die übrigen Klassen werden zu einer Veränderungsklasse zusammengefasst, so dass die betroffenen Segmente als *verändert* markiert werden. (vgl. Abb. 4).

3.2 Klassifikation der Veränderungen

Neben einer rein binären Differenzierung in Veränderungs- und Nicht-Veränderungs-Segmente im Fokussierungsmodul erfolgt anschließend eine Unterteilung in verschiedene Arten möglicher Veränderungen. Im Fokussierungsmodul werden die Veränderungssegmente auf Basis der normierten spektralen Differenz gebildet. Für die Klassifikation der so gebildeten und binär als verändert ausgewiesenen Segmente können Merkmale, die auf den Farb-, Form-, Textur- und Nachbarschaftseigenschaften der Segmente basieren, herangezogen werden, wobei unter Verwendung entsprechender pixel-basierter Indikatoren segmentweise ermittelte statistische Kenngrößen, wie Mittelwert und Standardabweichung dieser Indikatoren in die Klassifikation mit einbezogen werden können. Im Idealfall entspräche eine solche Klassifikation einer Ausweisung der entsprechenden Objektart zum Zeitpunkt t_1 . Im konkreten Fall kann jedoch nur eine Schätzung abgegeben werden, die als Hilfsmittel zur Aktualisierung verwendet werden kann und soll. Wie in Abschnitt 2

dargestellt, soll auch die Ausweisung möglicher Veränderungen so weit möglich automatisiert erfolgen, wozu das im Folgenden beschriebene Verfahren entwickelt wurde:

Da für die als verändert ausgewiesenen Flächen ihre Klassenzuordnung zum Zeitpunkt t_0 bereits bekannt ist, können im Sinne einer Veränderung hin zu einer Klasse zum Zeitpunkt t_1 einzelne Klassen für den Zeitpunkt t_1 ausgeschlossen werden. Für die nicht auszuschließenden Klassen zum Zeitpunkt t_1 können a-priori-Wahrscheinlichkeiten, basierend auf entsprechendem Expertenwissen angegeben werden. Im vorliegenden Fall wurde dieses Expertenwissen bei den Projektpartnern erfragt, was zu einer mehr oder weniger heuristisch aufgestellten Übergangs-Wahrscheinlichkeits-Matrix (T_p -Matrix) führte, in der für jedes t_0 -Objekt ein Vektor T_p erstellt wird, der die Wahrscheinlichkeiten für die Veränderung in eine andere Klasse des DeCOVER-Ausgangsdienstes zum Zeitpunkt t_1 enthält.

Die als verändert markierten Segmente werden anschließend auf Basis verschiedener Merkmale, wie oben beschrieben grob klassifiziert, wodurch eine entsprechende Zuordnung zu einer indizierten Veränderung auf Basis der aus den Bilddaten abgeleiteten Indikatoren möglich ist. Die indizierten Veränderungen werden durch eine Menge möglicher Klassen zum Zeitpunkt t_1 , die durch die Indikationen aus den Bilddaten angezeigt werden, abgebildet. Diese Klassen entsprechen derzeit grob Veränderung zu anthropogen geprägten Flächen oder zu vegetationsgeprägten Flächen. Da es sich hierbei nur um Schätzungen handeln kann, bietet sich eine entsprechende fuzzy-logische Zuordnung zu einer Veränderungsart an. Dabei erfolgt die Zuordnung auf Basis der Zu- oder Abnahme des NDVI, des Z-Werts, sowie der Homogenität der Veränderung. Für letztere werden derzeit sowohl die Differenzen der Standardabweichungen der Kanäle, als auch das Verhältnis der Anzahl von Sub-Objekten zur Fläche des Veränderungssegments herangezogen.

Mit Hilfe der beschriebenen Zuordnung zu einer Menge möglicher Klassen zum Zeitpunkt t_1 auf Basis der aus den Bilddaten

abgeleiteten Indikationen und mit Hilfe des T_p -Vektors kann für jedes als verändert markierte Segment seine plausibelste Klasse zum Zeitpunkt t_1 ermittelt werden, indem diejenige Klasse des T_p -Vektors ausgewählt wird, die zum einen in der Menge der durch Indikation angezeigten möglichen Klassen enthalten ist und zum anderen a priori am Wahrscheinlichsten ist. Kann eine als verändert ausgewiesene Fläche keiner entsprechend indizierten und a priori wahrscheinlichen Klasse zugeordnet werden, wird die Fläche zwar als verändert aber mit unbestimmter Veränderung ausgewiesen. Sowohl aus den einzelnen Indikationswerten der Fuzzy-Klassifikation, als auch dem Zugehörigkeitsgrad zur indizierten Klassengruppe lässt sich zudem in Kombination mit dem T_p -Wert die Plausibilität der indizierten und a priori angenommenen Veränderung darstellen und bewerten. Zusätzlich können durch diese Vorgehensweise zum einen widersprüchliche Aussagen aus a priori Wahrscheinlichkeit und Indikation vermieden

werden und zum anderen die automatische und/oder manuelle Überprüfung der als verändert ausgewiesenen Flächen deutlich gezielter eingesetzt werden. Zudem ist durch die Verknüpfung von Fuzzy-Membership-Werten und a-priori-Wahrscheinlichkeiten eine Quantifizierung der Plausibilität bzgl. der detektierten Veränderung und ihrer Zuordnung zu einer Veränderungsart möglich was die Bewertung der detektierten Veränderung erleichtert. In diesem Kontext ist zu betonen, dass die T_p -Matrix ein dynamisches Dokument darstellt, welches auf den Erfahrungen der DeCOVER Partner aufgebaut wurde und anhand der Veränderungsstatistiken über die Jahre fortgeschrieben werden sollte.

4 Ergebnisse

Das dargelegte Konzept wurde basierend auf zwei multispektralen IKONOS Szenen vom 28. 5. 2005 und vom 16. 4. 2007 mit einer Auflösung von fünf Metern (resamp-

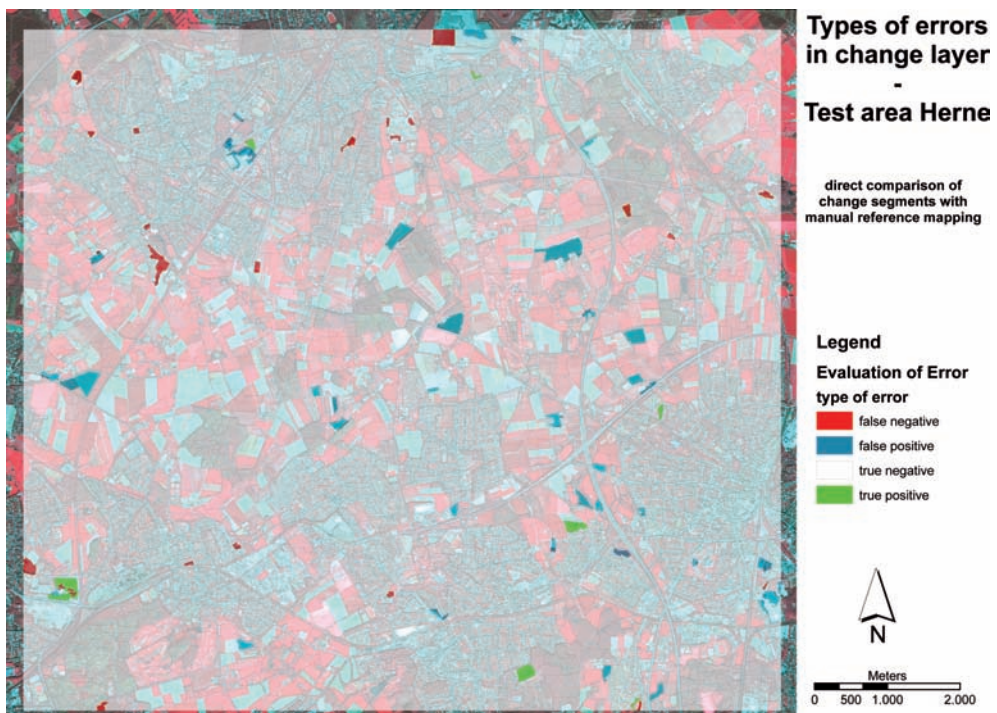


Abb. 5: Direkter Vergleich der Veränderungs-Segmente mit einer manuellen Referenzkartierung.

Tab. 2: Vergleich der automatischen Detektion von Veränderungen mit einer entsprechend manuell erstellten Referenz-Kartierung in beiden Testgebieten.

	Testgebiet Dresden	Testgebiet Herne
	% Pixel	
true positives	0,02	0,01
false negatives	0,70	0,30
false positives	6,82	0,92
true negatives	92,47	98,77
Summe	100,00	100,00
Fehlerrate	7,52	1,22

led) wie dargestellt implementiert und wird derzeit anhand eines Subsets zweier SPOT 5 Szenen vom 22.09.2005 und vom 15.07.2007 validiert. Dabei zeigte sich, dass die Segmentierung auf Basis der spektralen Differenz zu relativ gut bewertbaren Veränderungs-Segmenten führt. Defizite sind derzeit lediglich in Veränderungsbereichen zu beobachten, die nur einer geringen spektralen, dafür aber textuellen Veränderung unterliegen. Erste Vergleiche mit manuellen Veränderungskartierungen zeigten in der Genauigkeit der Veränderungserfassung zufriedenstellende Ergebnisse. Hierzu wurde jedoch lediglich die binäre Veränderungsmaske herangezogen. Wie Abb. 5 und Tab. 2 zu entnehmen ist, stimmen in beiden Fällen relativ viele Pixel mit einer manuell erstellten Referenz überein. Dabei wurden die beobachteten Abweichungen von der Referenz je Pixel in vier Typen differenziert:

- **True positive:** automatisch erkannte Veränderung ist auch in der Referenz als Veränderung erkannt.
- **True negative:** automatisch erkannte Nicht-Veränderung ist auch in der Referenz als Nicht-Veränderung erkannt.
- **False positive:** automatisch erkannte Veränderung ist in der Referenz nicht als Veränderung erkannt.

- **False negative:** in der Referenz erkannte Veränderung ist automatisch nicht als Veränderung erkannt (Auslassungsfehler).

Der Anteil der Auslassungsfehler ist relativ gering. Da Fehler der Art *false positive* mit vergleichsweise geringem Aufwand manuell korrigiert werden können, ist deren Anteil wie in Tab. 2 dargestellt, vertretbar. Zudem entstammen die meisten dieser Fehler dem landwirtschaftlichen Bereich, so dass aufgrund der dort großflächiger auftretenden Veränderungen dieser Fehler leicht überschätzt wird. Fasst man beide Fehlerarten zusammen, so erhält man in beiden Testgebieten eine Fehlerrate von deutlich unter 10%. Unter dem Aspekt der Zeitersparnis gegenüber einer manuellen Veränderungserfassung ist der Anteil der Auslassungsfehler noch zu bewerten. Eine entsprechende Validierung wird innerhalb des Konsortiums derzeit vorgenommen.

5 Fazit und Ausblick

Während der Umsetzung des Konzepts zeigte sich, dass mit Ausnahme der Segmentierung, immer wieder manuelle Eingriffe in den Prozess notwendig waren. Insbesondere im landwirtschaftlichen Bereich kommt es aufgrund der hohen spektralen Dynamik und bei Verwendung von nur zwei Beobachtungszeitpunkten zu häufigeren Fehleinschätzungen der Veränderung. Auch zeigte sich, dass das derzeit implementierte Segmentierungsverfahren zwar bereits sehr gute Ergebnisse liefert, jedoch an dieser Stelle durchaus noch Verbesserungspotenzial besteht. Gleiches gilt für die anschließende automatische Bewertung der Segmente.

Das bisherige Feedback zu den Ergebnissen des ersten Durchlaufes der sequentiellen Prozesskette für die DeCOVER-Komponente *Kartierung* auf zwei Testgebieten ist als überwiegend positiv zu bewerten. Neben einer Produktvalidierung durch in das Projekt eingebundene Behördenvertreter wurden die Ergebnisse dem Fachpublikum im November 2007 im Rahmen des zweiten DeCOVER Nutzerworkshops vorgestellt. Der aktuelle Entwicklungsstand zum Fortfüh-

rungskonzept beinhaltet aussichtsreiche Ansätze. Zur Zeit werden weitere Untersuchungen insbesondere hinsichtlich zusätzlicher Indikatoren und der Kombination von Indikatoren durchgeführt. Die Adaption und Integration dieser Methodenentwicklungen in Bezug auf die sequentielle Produktionsprozesskette ist ebenfalls Gegenstand aktueller Arbeiten. Zwischenresultate der Change-Detection-Prozessierungskette kommen für eine weitere Nutzung durch den Endnutzer als „Direct Change“ Produkte in Betracht, indem sie auch Hinweise zur Fortführung anderer bestehender Datensätze liefern können. In einer anschließenden Projektphase soll das Konzept durch zusätzliche Geoinformationsdienste erweitert werden. Dabei werden durch in der Regel höhere thematische und räumliche Auflösungen spezifischere Anforderungen abgedeckt. Das DeCOVER Leistungsspektrum wird damit regionalen Nutzerbedarf abbilden.

6 Literatur

- BAATZ, M. & SCHÄPE, A., 2000: Multiresolution Segmentation: An Optimization Approach for High Quality Multi-scale Image Segmentation. – In: *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII, Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg, 2000, Heidelberg*, 12–23.
- BENZ, U., HOFMANN, P., WILLHUK, G., LINGENFELDER, I., HEYNEN, M., 2004: Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. – *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* **58** (3/4): 239–258.
- BRUZZONE, L. & COSSU, R., 2002: Analysis of Multitemporal Remote-Sensing Images for CD: Bayesian Thresholding Approaches. – University of Trento, Technical Report No: DIT-02-0031.
- BÜSCHER, O. & BUCK, O., 2007: DeCover – Geoinformation Services to Update and Supplement Land Cover Data for German Decision Makers. – *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* **36** (1W51), auf CD.
- BUSCH, A., GERKE, M., GRÜNREICH, D., HEIPKE, C., LIEDTKE, C.-E. & MÜLLER, S., 2005: Automatisierte Verifikation topographischer Geoinformation unter Nutzung optischer Fernerkundungsdaten. – *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation* **2005** (2): 111–122.
- CHEN, Q., ZHANG, Y., EKROOS, A. & HALLIKAINEN, M., 2004: The role of remote sensing technology in the EU water framework directive (WFD). – In: *Environmental Science & Policy* **7** (4): 67–276
- DeCOVER, 2008: www.de-cover.info, zuletzt besucht im Juni 2008.
- DEFINIENS, 2008a: *Definiens Developer Version 7 Reference Book*.
- DEFINIENS, 2008b: *Definiens Developer Version 7 User Guide*.
- DWORAK, T., LAASER, C., KUNTZ, S. & SEIFERT, F. M., 2005: Possible contributions of ESA Global Monitoring for Environment and Security initiative for the WFD implementation. – In: *Environmental Science & Policy* **8** (3): 321–326.
- FUNG, T., 1990: An assessment of TM imagery for Land-cover Change detection. – *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* **28** (12): 681–684
- GERKE, M., BUTENUTH, M., HEIPKE, C. & WILLRICH, F., 2004: Graph supported verification of road databases. – *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* **58** (3/4): 152–165.
- HOFMANN, P., LOHMANN, P. & MÜLLER, S., 2008: Concepts of an object-based change detection process chain for GIS update. – *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* **37** (B4): in print.
- IMAGI, 2008: www.gdi-de.org/de/download/IMAGI_Organisation_Zusatz.pdf (April 2008).
- KOELN, G. & BISSONNETTE, J., 2000: Cross-Correlation Analysis: Mapping LandCover Changes with a Historic LandCover DataBase and a Recent, Single-date, Multispectral Image. – *Proc. 2000 ASPRS Annual Convention, Washington, DC*, glc.org/wetlands/flora-fauna.html (February 2008).
- LAMBIN, E. F. & STRAHLER, A. H., 1994: Change-vector analysis in multitemporal space: a tool to detect and categorize land-cover change processes using high temporal resolution satellite data. – *Remote Sensing of Environment* **48**: 231–244
- LOHMANN, P., HOFMANN, P. & MÜLLER, S., 2008: Updating GIS by object-based change detection. – In: SCHIEWE, J. & MICHEL, U. (Eds.): *Geoinformatics paves the Highway to Digital Earth – Festschrift zum 60. Geburtstag von Prof. M. Ehlers, Institut für Geoinformatik und Fernerkundung, Universität Osnabrück* **8**: 81–86.

- LU, D., MAUSEL, P., BRONDISIO, E. & MORAN, E., 2004: Change detection Techniques. – International Journal of Remote Sensing **25** (12): 2365–2407.
- SCHÖPFER, E., 2005: Change Detection in Multitemporal Remote sensing Images Utilizing Object-Based Image Analysis. – Doctoral Thesis, University of Salzburg.
- SINGH, A., 1989: Digital change detection techniques using remotely-sensed data. – International Journal of Remote Sensing **10**: 989–1003.

Anschriften der Autoren:

OLAF BÜSCHER, OLIVER BUCK, EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH, Oststr. 2–18, D-48145 Münster, Tel.:0251/133070, Fax: 0251/1330733, e-mail: olaf.buescher, oliver.buck@eftas.com

Dr. PETER LOHMANN, Dr. PETER HOFMANN, Dr. SÖNKE MÜLLER, Institut für Photogrammetrie und GeoInformation (IPI), Leibniz Universität Hannover, Nienburger Str. 1, 30167 Hannover, Tel: 0511/7622482, Fax: 0511/7622483, e-mail: lohmann, hofmann, mueller@ipi.uni-hannover.de

ROBERT SCHENKEL, H.G. GeoData Solutions GmbH, Talstr. 84, 07743 Jena, Tel: 03641/351811, Fax: 03641/351825, e-mail: H.G.GDS-schenkel@arcor.de

CHRISTIAN WEISE, Definiens AG, Trappentreustr. 1, 80339 München, Tel: 089/23118065, e-mail: cweise@definiens.com

Manuskript eingereicht: April 2008
Angenommen: Juni 2008

Crop Mapping Services for the Sudanese Government in Frame of the ESA Global Service Element “*Global Monitoring for Food Security*”

CARSTEN HAUB, Münster, ABDELATIF AHMED IJAIMI, NABEEL AHMED M. SAAD & HASSAN EL SHEIKH EL BASHIR, Khartum, ERICK KHAMALA, Nairobi, LIEVEN BYDEKERKE, Mol; FRANCESCO HOLECZ, Purasca, BERNARD TYCHON, Arlon, PAOLO RAGNI, Fano, PATRIZIO VIGNAROLI, Firenze, GUY HENDRICKX, Zoersel & CAROLINE HEYLEN, Heverlee

Keywords: GMES (Global Monitoring for Environment and Security program), food security, agricultural monitoring, multi scale information services, time series analysis, SAR & optical satellite data fusion, knowledge based classifier, neural network, low, medium and high resolution data integration, knowledge transfer

Summary: The Global Monitoring for Food Security (GMFS) focuses on those aspects of food security monitoring where satellite derived technology can bring added value. These include monitoring parameters reflecting crop condition, agricultural production and overall vegetation health. It aims to establish an operational service for crop monitoring in support of Food Security Monitoring to serve policy makers and operational users on various scales by providing spatial information on variables affecting Food Security.

This article focuses on the service implementation, the modular processing systems and algorithms, applied to provide needed multi scale information on crop extent, cultivated area, crop condition and production for Food Security assessments and how this was demonstrated in the Sudan during the past crop seasons.

Zusammenfassung: *Agrarkartierungsdienste für die sudanesische Regierung als Teil des „Globalen Monitoring zur Ernährungssicherung“ der Dienste-Projekte der ESA.* Aufgabe des Global Monitoring for Food Security Projektes (GMFS) ist es, bestehende Frühwarnsysteme zur Ernährungssicherung mit Informationen zu unterstützen, die im Besonderen durch den Einsatz von Satellitenfernerkundung präziser und schneller geliefert werden können, als durch bisherige Verfahren. Die hier benötigten Dienste beziehen sich vor allem auf die Erfassung und Dokumentation von Bestands- und Wuchsbedingungen entsprechender Hauptnahrungsmittel liefernder Kulturen, deren Ausdehnung der Anbauflächen sowie deren entsprechende Produktion. GMFS zielt darauf ab, hierzu operationelle Dienste zu etablieren, die zukünftig politischen Entscheidungsträgern und bestehenden Frühwarnsystemen auf unterschiedlichen administrativen Ebenen zur Erfassung und Vermeidung von Nahrungsmittelengpässen oder Hungerkatastrophen von Nutzen sein können.

Der vorliegende Artikel fokussiert auf die Darstellung und Umsetzung der Dienste mittels modularer Prozessketten und Methoden, die durch das GMFS Konsortium speziell dazu entwickelt wurden, um die multiskalaren Anforderungen der unterschiedlichen Nutzer im Bezug auf die Überwachung der Ernährungssicherung abzudecken. Dies wird anhand der Realisierung im Sudan in den vergangenen Vegetationsperioden veranschaulicht.

1 Introduction

The Global Monitoring for Food Security project (GMFS) is a part of the European Space Agency (ESA) Global Monitoring for Environment and Security (GMES) Programme (European Commission 2005). GMFS aims to establish an operational service to serve policy makers and operational users by providing advanced crop information derived from Earth Observation data and to contribute to the transparency of the production, management and distribution of agriculture. The ultimate goal is to identify and assess food insecure areas and populations and to quantify their level of vulnerability with particular emphasis on food security (GMFS 2004). The GMFS project runs since 2003 and is scheduled to run up to March 2009.

The GMFS Stage 2 consortium consists of 12 European based companies and institutes and is lead by VITO the Flemish Institute for Technological Research (HAUB 2007 & www.gmfs.info). As a GMFS demonstration case, the Sudan plays an important role. The country is located in a climatically highly variable region and in the rain-

fed sector as dominating agriculture the production is strongly depending upon the amount and distribution of seasonal rains. This affects the total cultivated area per season and leads to severe localized food insecurities (FAO 2006). In this respect it is one major aim of the agricultural policy of the Sudanese Government to combat poverty and hunger with a number of programmes, initiatives and international cooperation's.

More than 20 years ago, the Federal Ministry of Agriculture and Forest of Sudan (FMoAF) started to work with Satellite Earth Observation methodologies on the estimation of agricultural production. The FMoAF renewed in July 2007 this engagement with the agreement of a Memorandum of Understanding with the European GMFS partnership represented in East Africa by EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH and VITO.

EFTAS is coordinating the regional implementation of the GMFS activities in East African countries (see Fig. 1). In this respect EFTAS links the European base activities from the GMFS service providers with the activities implemented on the ground, provides a communication channel and sup-

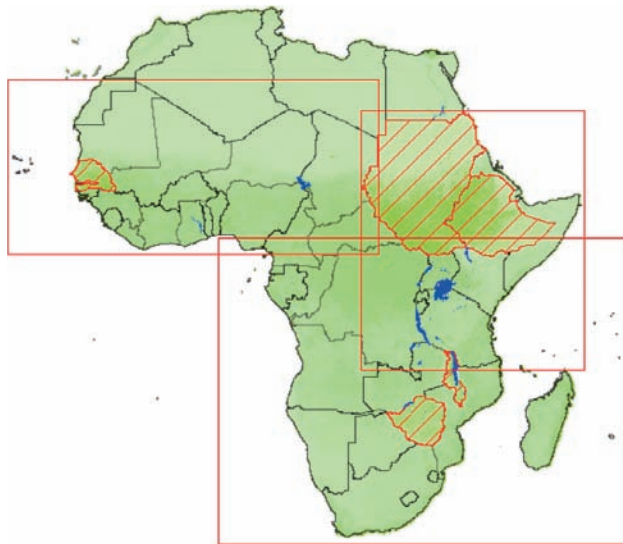


Fig. 1: GMFS geographical extent in three regions in East, West and Southern Africa (according to IGAD – Intergovernmental Authority on Development, CLISS – Comité Inter-états pour la Lutte contre la Sécheresse au Sahel, SADC – Southern Africa Development Community) and five countries (red = Sudan, Ethiopia, Senegal, Malawi and Zimbabwe).

ports the regional partners, in particular with the FMoAF in Sudan, the Central Statistic Agency (CSA) in Ethiopia as well as with the Regional Centre for Mapping of Resources for Development (RCMRD) in Kenya. For Sudan EFTAS forms a strong partner network together with General Administration of Planning & Agricultural Economics (PAEA) of the FMoAF as well as other relevant public authorities in Khartoum and shares knowledge beyond the pro-

vision of crop information. Specifically the assessment of the yearly cultivated area in the rain fed dominated sectors are of major interest for the PAEA.

2 GMFS Services

GMFS provides four types of food security services which are as shown in Tab. 1: i – support to the FAO/WFP Crop and Food Supply Assessment Missions (CFSAM). ii

Tab. 1: GMFS Service Portfolio.

Service	Product Name
Support to CFSAM	GMFS Support Kit for FAO/WFP CFSAM missions (SK)
Early warning	Vegetation Productivity Indicator (VPI)
	Fraction of Absorbed Photo synthetically Active radiation (fAPAR)/DMP
Agricultural mapping	Crop Emergence Period (CEP)
	Cultivated Area (CA)
	Extent of Cultivation (EoC)
	Agricultural Productivity (AP)
Crop Yield assessment	Crop Yield (CY)

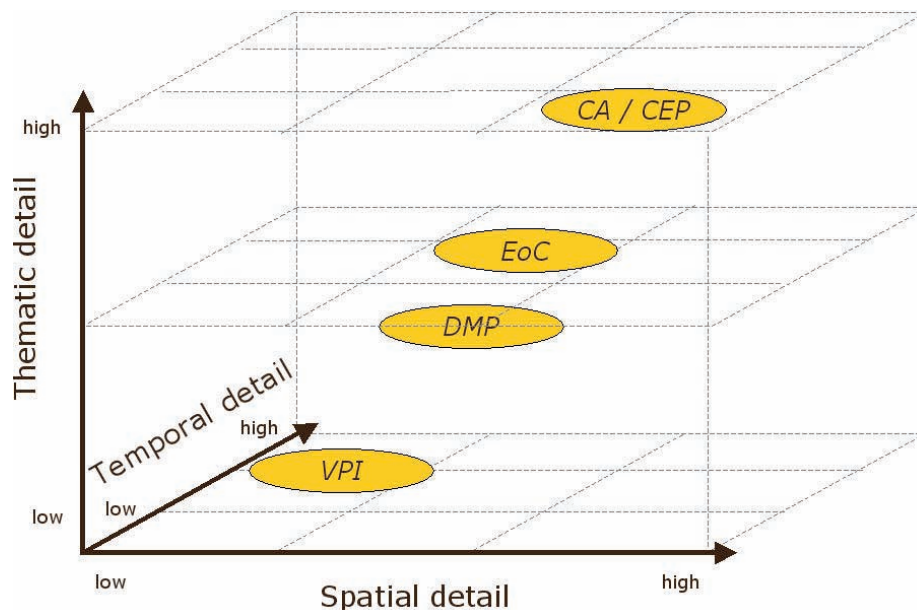


Fig. 2: Advanced multi scale crop information services (GMFS services, see Tab. 1: CA = Cultivated Area; CEP = Crop Emergence Period; EoC = Extent of Cultivation; DMP = Dry Matter Productivity; VPI = Vegetation Productivity Indicator).

– Early Warning Services. iii – Agricultural mapping services. iv – Yield assessments.

These services are developed in extensive exchange and under permanent review with core user organisations such as the FMoAF in Sudan, as well as other national authorities, regional centres such as the RCMRD in Kenya, United Nations (UN) organisations such as UN Food and Agriculture Organisation (FAO), UN World Food Pro-

gramme (WFP) in Rome and the European Commission Directorate General Joint Research Centre (JRC) (GMFS 2006a, BYDEKERKE et al. 2007).

The broad range of user requirements scaling from national authorities, regional institutions, up to the UN level are reflected in specific solutions regarding the thematic, spatial and temporal resolution (see Tab. 2 and Fig. 2).

Tab. 2: GMFS Service Portfolio.

Service	Product Name	Spatial resolution	Temporal resolution	Used Sensors
Early warning	Vegetation Productivity Indicator (VPI)	1 km	10 daily	SPOT-VGT
	Fraction of Absorbed Photo synthetically Active radiation (fAPAR)/DMP	100–300 m	10 daily	MERIS
Agricultural mapping	Crop Emergence Period (CEP)	15–20 m	Once per main crop season	ASAR, ALOS/PALSAR LANDSAT TM/ETM
	Cultivated Area (CA)	15–20 m	Once per main crop season	ASAR, ALOS/PALSAR LANDSAT TM/ETM
	Extent of Cultivation (EoC)	100–300 m	Once per main crop season	ASAR, ALOS/PALSAR LANDSAT TM/ETM MERIS FR/MODIS
	Agricultural Productivity (AP)	100–300 m	Once per main crop season	ASAR, ALOS/PALSAR LANDSAT TM/ETM MERIS FR/MODIS

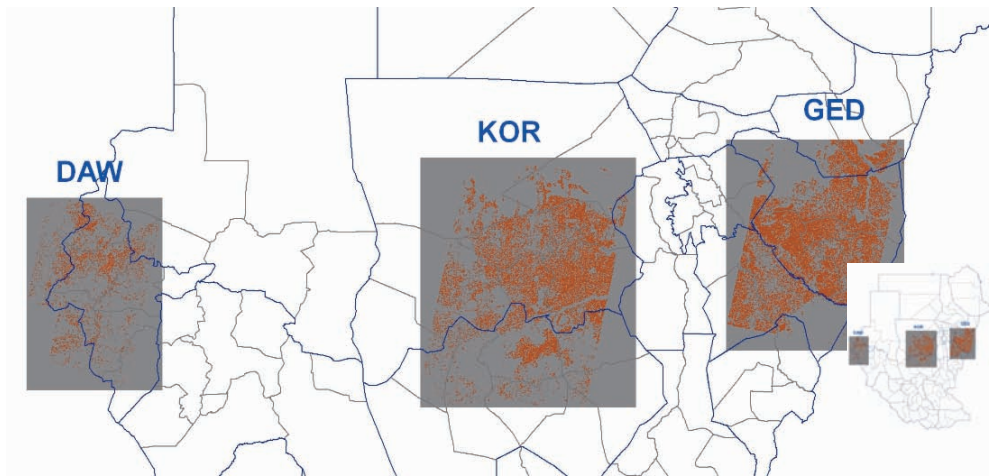


Fig. 3: GMFS case study areas for CA (high resolution Cultivated Area product) in Sudan 2007 (DAW = Darfur West; KOR = Kordofan; GED = Gedaref).

As shown in Tab. 2, the Early Warning services are based upon the processing of low resolution data and are covering in a fully unsupervised generation regional to continental scales (GMFS 2006b & 2008). The Agricultural mapping services are generated once per main cropping season. The medium resolution product is here covering entire Sudanese territories' crop extent (EoC). These product is up scaled on basis of high resolution cultivated area maps (CA), which are produced for main agricultural production areas or specific Areas of Interest (AOI) on a local level. For Sudan three AOIs had been defined over Darfur (DAW) and Kordofan (KOR), which are dominated by rain fed sorghum & millet production, and over Gedaref (GED), dominated by mechanized agriculture and huge irrigation schemes (see Fig. 3). Mainly the Early Warning & Agricultural mapping services are provided to the Federal Ministry of Agriculture and Forest in Sudan.

3 GMFS Crop Mapping in Sudan

The methodology used is strongly based upon the multi-temporal characteristics of the satellite data in response to the changing environment. It is a modular processing system (see Fig. 4), which is aimed to be systematically up scaled with recent ground truthing field data. In essence it is based upon the fact that agricultural land has a specific 'growing profile' to that of its surrounding vegetation or land cover types. These changes are picked up, both in the SAR signal (see Fig. 5) and the optical signal throughout the growing season on the basis of which cropped land is identified (GMFS 2006b; BYDEKERKE et al. 2007). The accuracy and efficiency of the used algorithms in relation to the spatial and temporal resolution of the used data are strongly influenced by the employed management techniques of the agricultural land, in particular the field sizes and degree of fragmentation of the landscape. Subsistence agriculture in Africa is predominant and in some areas agriculture is characterized by small, highly fragmented and scattered fields. In these

cases ground resolution of the input satellite data is the most limiting factor. Other areas are easier to identify due to larger field sizes. The use of the product depends upon the final accuracy achieved and ranges from the use as generic crop mask to an input layer for the assessment of total cropped area. The mapping products are repetitive and cover every growing season. Fig. 6 illustrates one of the products for Sudan for the Gedaref area.

MERIS and ASAR data are used in both the Agricultural mapping service and the Early Warning service. MERIS is used in both resolutions namely the Full Resolution (FR, 300 m pixel size) and the Reduced resolution (RR, 1,2 km pixel size). From the acquired MERIS RR images 10-daily fAPAR composites are made covering the entire Africa. The 10-daily images are typically completed 3–4 days after the last acquisition and are then further distributed to the partner organizations in Africa, showing the specific region of interest. Users are notified by email, including a quick look, upon new arrival of a product and the products itself are made available through the ESA Data Dissemination System (DDS) or via regular FTP.

A multi-temporal series of MERIS FR and ASAR covering the entire growing season of the monitored areas are analyzed in combination with other satellite data (SPOT-4, Landsat) and ground observations in order to derive the cropped area at local and national scale. The methodology and classification algorithms used (see Fig. 4) are as far as possible multi-mission compatible and under continuous improvement. Based on the results and products' evaluations obtained during the Stage 1, the overall service strategy is critically reviewed as well as the different processing chains (in terms of algorithms and requested EO data) used for the products generation. In essence, key issues were:

- To take into account, as far as possible, the synergetic use (spectral, temporal, and spatial) of EO data;
- To optimise and harmonise the processing chains;

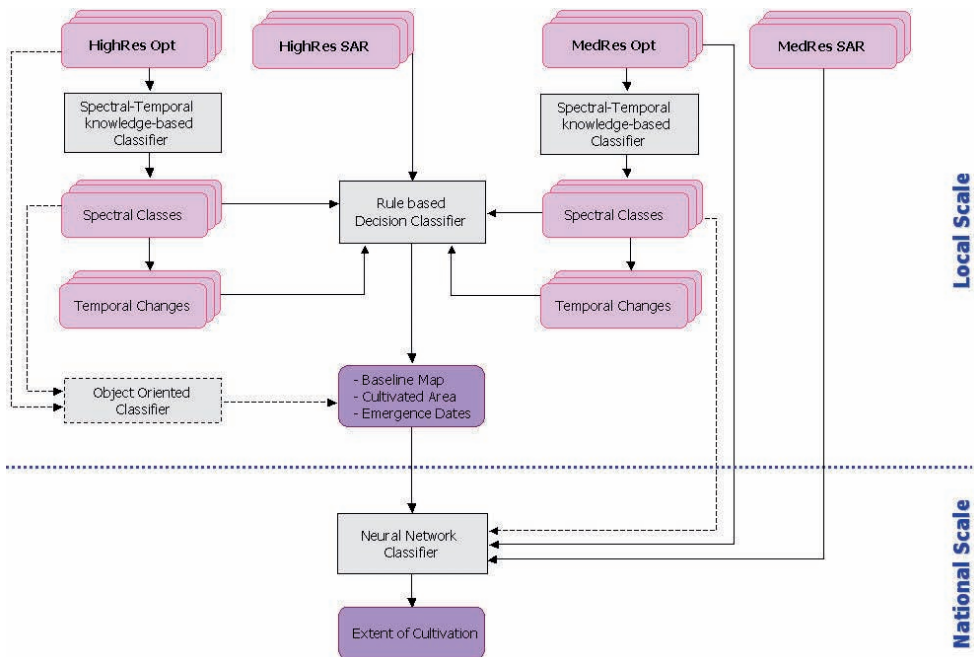


Fig. 4: GMFS Agricultural Mapping Services process chain. Dashed lines are back-up solutions (GMFS, 2006b).

- To consider back-up solutions in terms of EO data and algorithms;
- To provide scalable (from local to national) information.

Fig. 4 gives an overview of the improved and harmonised GMFS processing chain. The basic strategy is that in a modular approach High Resolution SAR (ASAR Alternating Polarization, ALOS PALSAR Fine Beam) and Optical (Landsat TM/ETM+, SPOT-4, a.o.) data are used to generate Baseline Map, **Cultivated Area (CA)**, and **Emergence Period (CEP)** products at local level in the different Agro-Ecological-Zones and/or agricultural areas. Basis of this step is a knowledge based classifier. Medium Resolution Optical (MERIS Full Resolution, MODIS) complemented by SAR (ASAR Wide Swath, ALOS PALSAR ScanSAR) data are calibrated, i. e., trained, using of the Baseline Map, and classified to up-scale the High Resolution products at country level, hence obtaining the **cultivation extent product (EoC)** using Neural Network classifier (see Sections 3.1 and 3.2).

3.1 GMFS High resolution “Agricultural Mapping” Module

The pre-processing part – which includes all data processing steps from raw to geocoded/ortho rectified and calibrated product – for both Optical and SAR, is fully automatic. The standard product is a multi-temporal mosaic ranging from local to national scale.

During the Phase 1 a spectral knowledge-based per-pixel classifier (BARALDI et al. 2006) capable of detecting a set of kernel spectral layers in calibrated optical images has been considered. In essence, in this system, kernel spectral rules are designed to mimic well-known spectral signatures of target land covers. Based on prior knowledge exclusively, the established spectral classifier component requires no training and supervision to run, i. e., it is fully automatic. Its output map is an input into the “Rule Based Decision Classifier” and consists of spectral strata, e.g., strong vegetation, provided with a symbolic meaning intermediate between those (low) of clusters and segments

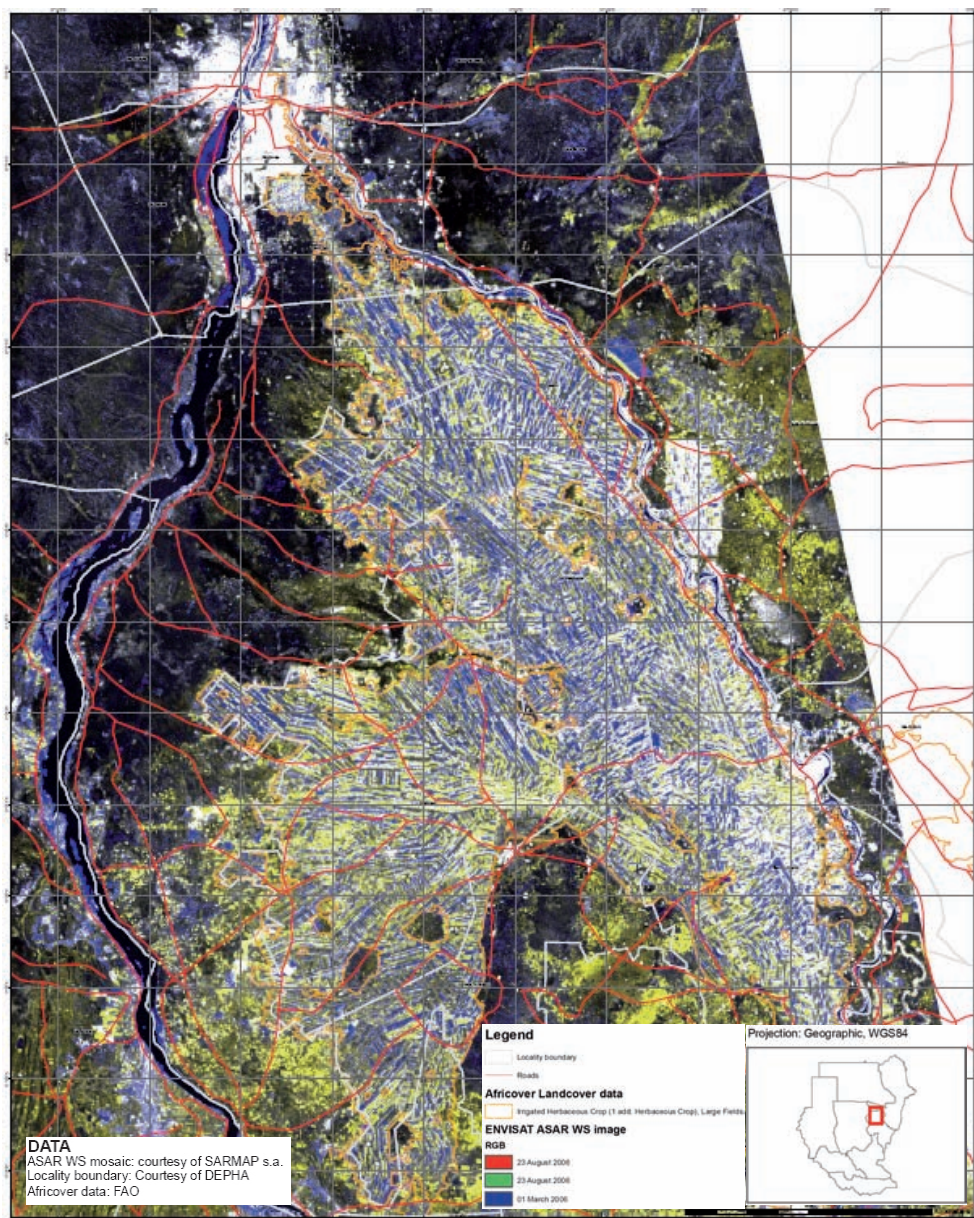


Fig. 5: Large irrigated fields in Gezira scheme south of Khartoum as seen by ENVISAT ASAR. (The Gezira irrigation scheme, which uses water from the upstream Sennar dam along the Blue Nile, can clearly be identified on the ENVISAT ASAR WS images with a main ground resolution of about 100 m. The Gezira scheme is one of the largest irrigation projects in the world. The network of canals is about 4,300 kilometers long and the irrigated area covers about 8,800 square km. The characteristic rectangular shape is adopted to allow individual fields to access water in the irrigation canals along its narrow side. Additionally, the ENVISAT ASAR images taken in the evening of 23 August 2006, shows evidence of the recent floodings in Sudan (Blue coloured zones around the river). Torrential rainfall in the highlands of Ethiopia, early August 2006, caused extensive flooding in Sudan, an event which was also captured by the continuous agricultural monitoring activities of GMFS).

and those (high) of land cover classes, e. g., forest. As a consequence, prior knowledge-based kernel spectral categories are naturally suitable for driving stratified application-specific classification, clustering, or segmentation of EO imagery which could involve training and supervision.

This GMFS process chain and the knowledge-based classification strategy is developed by sarmap (Switzerland) and applied to the SAR data (GMFS 2006b). Considering in this case, not the spectral, but the temporal variations of the backscattering coef-

ficient and (whenever relevant) coherence, which – for targeted applications as agriculture – are characteristic for this type of instruments. Moreover, combining the spectral layers with geometrically and radiometrically calibrated multi-temporal SAR data, the temporal-spectral rule-based classifier takes full advantage of data synergy, making the system not only more efficient but reliable, due to information redundancy. This approach has been designed and developed using Landsat TM/ETM+ and ENVISAT ASAR AP data, and subsequently extended

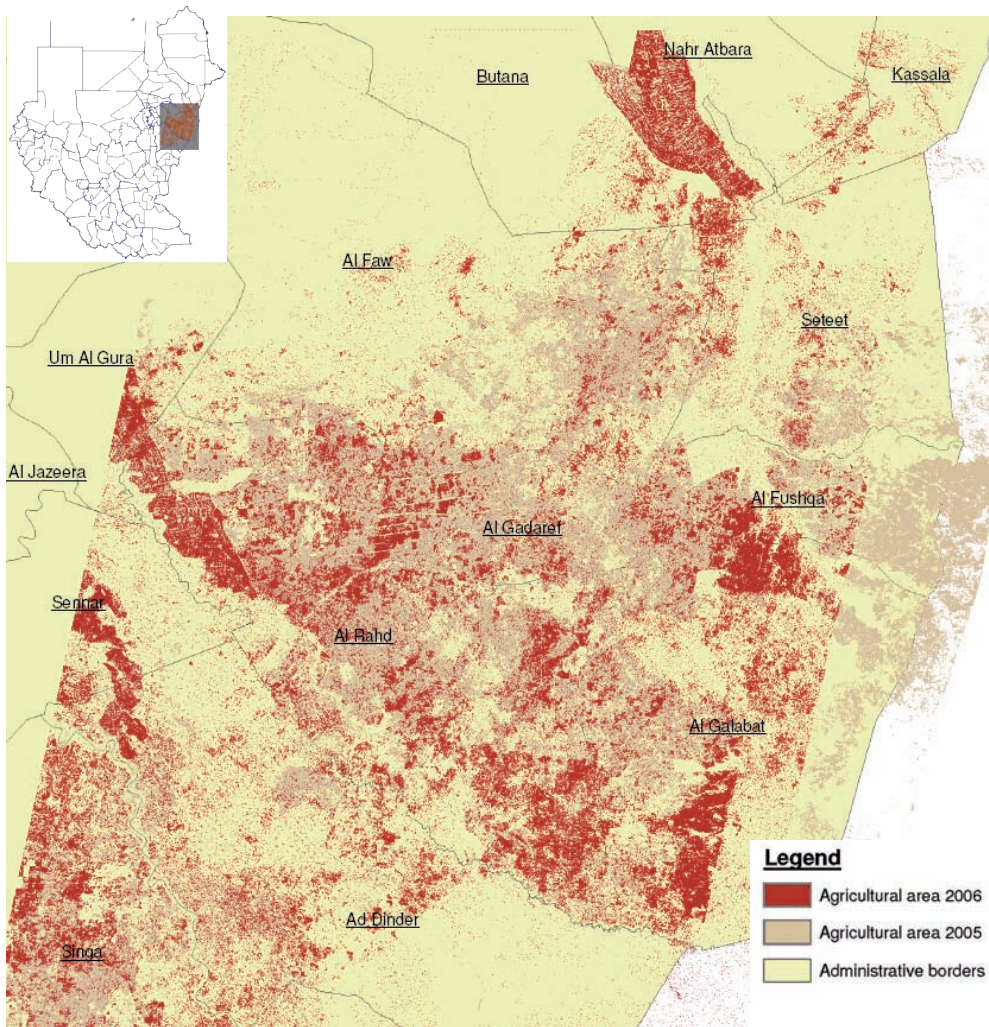


Fig. 6: GMFS Cultivated Area map (CA) annual variations over Gedaref area (East Sudan) between 2005–2006 (dark red areas = increase cultivation in 2006).

to SPOT-4, MODIS data, hence enabling to support the processing of High to Medium Resolution data sets. Future improvements also include the use of ALOS/PALSAR, SPOT VEGETATION P-products and others. In addition, the methodology used minimizes the needs for operator intervention, automating the procedures to the extent possible.

For the generation of the CA map for Sudan 2007 ASAR AP amplitude images (acquisitions spanning from January to November 2007), Landsat 5 TM and Landsat 7 ETM+ multispectral archive images acquired between 1999 and 2000, the Crop Acreage Map of the year 2006 and ALOS PALSAR acquisitions of the year 2007 were used (GMFS 2008).

3.2 GMFS Medium resolution “Agricultural Mapping” Module

The aim of the medium resolution product (EoC map) derived from MERIS FR and/or MODIS data is to upscale the local scale product (CA) to the national scale, using a

Neural Network (NN) technique. Area Fraction Images as in Fig. 6 (AFIs) are generated from the CA product (the CA product either being produced directly from the SAR imagery in combination with the baseline map in year 1; or updated with new imagery for year 2. In one AFI each pixel represents the fraction of a certain class within that pixel. These AFI’s are then up-scaled using a multi-temporal stack of medium resolution images covering the entire area under consideration. It is based upon multi-temporal medium resolution fAPAR images (pixel size 300 m), the CA product, multi-temporal characteristics of vegetation, and specific changes of agricultural land during the growing season (field clearance, sowing, senescence, harvesting, etc.). This requires repetitive acquisitions of satellite data during the growing season, typically once every 10 days. This technique has been thoroughly applied by VITO through work in previous Belgian Research projects, GEOLAND (within the Observatory for Food Security and Crop Monitoring) and the EC funded ASIATIC project (EERENS 2006).

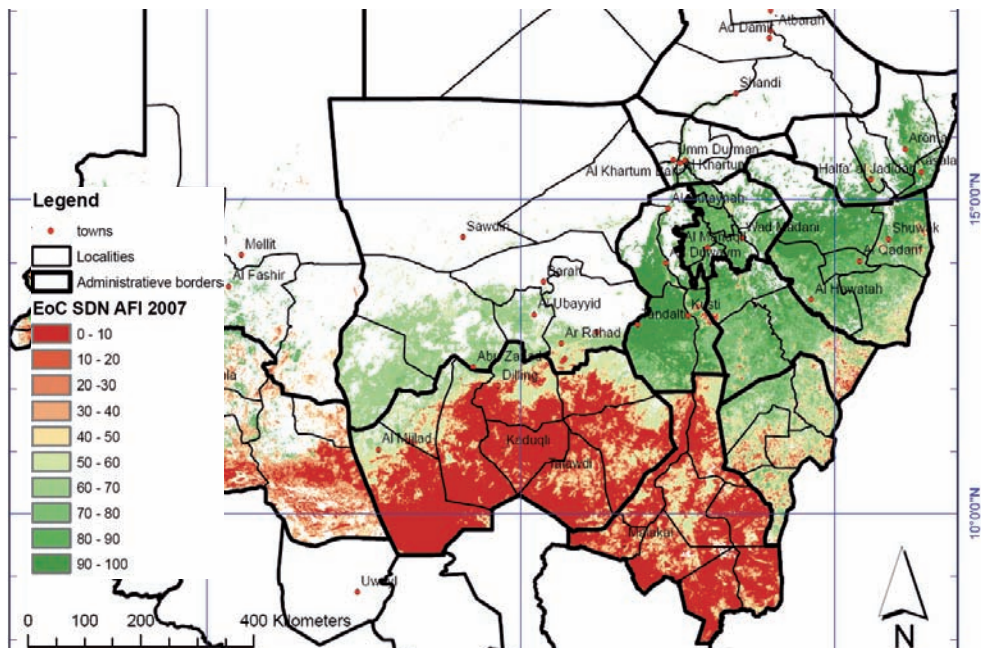


Fig. 7: GMFS Extent of Cultivation (EoC) 2007. GMFS EoC-AFI map SDN 2007.

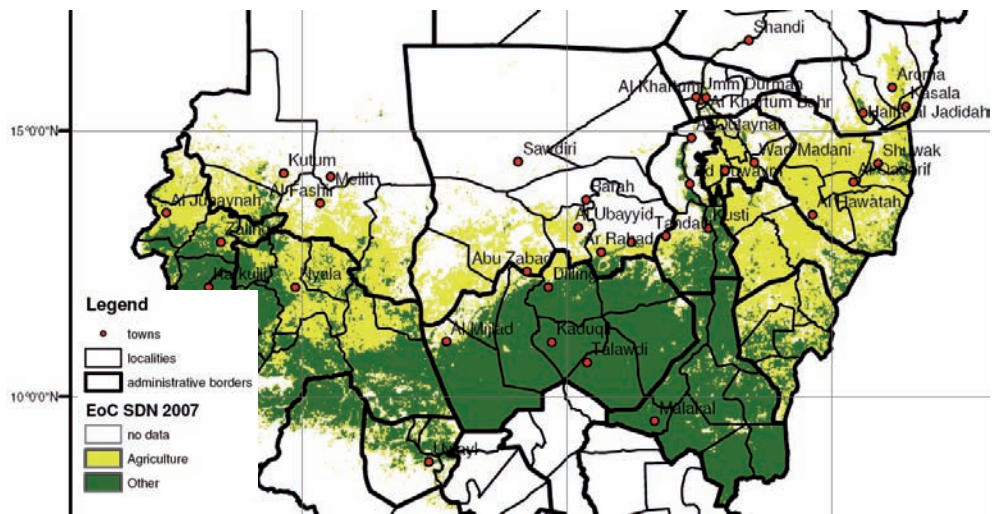


Fig. 8: GMFS Extent of Cultivation (EoC) 2007. GMFS EoC-map SDN 2007.

The Extent of Cultivation (EoC) product (see Fig. 7) intends to give a qualitative indication of cropped areas for a given growing season. Because the EoC product is repetitive and generated every growing season over the main production areas of Sudan it allows to assess annual variations of the cultivated areas (see Fig. 8).

For the 2007 generation five MERIS FR fAPAR images were used as input for the neural network (from April until November), covering the major growing season. The CA products for the three regions Darfur West, Kordofan and Gedaref were converted to AFI's and corresponding pixels were selected as training output for the neural network (GMFS 2008).

The software used for the processing is GLIMPSE (GLobal IMage Processing Software), developed by VITO. The dominant classes from the AFI (see Fig. 7) were selected to create the EoC product (see Fig. 8).

4 GMFS Outcomes

In addition to the remote sensing data GMFS considers systematic ground truthing, whereas in Sudan a dedicated area frame survey campaign was undertaken in October 2007. In advance of an on site campaign in KOR and GED a central training

had been arranged by EFTAS for three days in Khartoum to introduce the field survey methodologies to the most relevant authorities in Sudan. The initiative followed a standard field work protocol (GMFS 2007) with the objective to accomplish a harmonized data format for integration into the process chains. For Sudan the interactive GIS field data base contained in 2007 more than 500 predefined samples, which had been used for calibration and implemented into the Quality Control (QC) procedures.

As final component those QC procedures are mandatory for all GMFS services in order to support the implementation, delivery and evaluation of particular end-to-end services. Each GMFS service and constituent data product delivered to end-users is accompanied by a quality control record. This principle GMFS strategy, i.e. to complement the processing of user requested Earth Observation products with systematic ground truthing of the recent season, thorough validation and participative integration of local experts knowledge, could be demonstrated as a sustainable approach to provide reliable information.

Generally this particular service cycle over Sudan 2007 could confirm that the developed GMFS services, such as the information about crop conditions and the extent

of cropped areas at different scales, provides powerful information upon the most pressing issues in terms of Food Security.

Although the GMFS services are still considered to be in a pre operational stage the Sudan users have a detailed perception of the potential of GMFS products and how they can contribute to improve cost-effectively existing Food Security assessments. However, prior to full integration into existing services the quality of the products needs to be confirmed. Therefore, GMFS service providers are continuously improving their products.

Acknowledgements

The authors would like to acknowledge Dr. Omer Abdelwahab Abdalla, the former Under Secretary of the Federal Ministry of Agriculture and Forest of the Sudan, who started the cooperation framework and agreed upon a Memorandum of Understanding with the GMFS partnership in July 2007.

References

- BARALDI, A., PUZZOLO, V., BLONDA, P., BRUZZONE, L. & TARANTINO, C., 2006: Automatic Spectral Rule-Based Preliminary Mapping of Calibrated Landsat TM and ETM+ Images. – *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* **44** (9): 2563–2586.
- BYDEKERKE, L., HOLECZ, F., HAUB, C., TYCHON, B., RAGNI, P., VIGNAROLI, P., HENDRICKX, G. & HEYLEN, C., 2007: The global Monitoring for Food Security project: using ENVISAT MERIS and ASAR for monitoring agriculture in Africa. – 32nd International Symposium on Remote Sensing of Environment: „Sustainable Development through Global Earth Observations with ISPRS WG VII/6 special session.
- EERENS, H., VERBEIREN, S., BOSSYNS, B., QINGHAN, D., PICCARD, I., GENOVESE, G., NÈGRE, T., FRITZ, S., YEMBO, H., ZHONGXIN, C., XINGLI, G. & JIA, L., 2006: Wide-Scale Land Use Mapping & Regional Crop Area Estimation via Sub-Pixel Classification of LoRes IMGs. – *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* **36**.
- European Commission, 2005: EARTH AND SPACE – Europe sets its sights on GMES. – *Magazine on European Research, RTDinfo* **44**, ec.europa.eu/research/rtdinfo/44/01/print_article_2027_en.html.
- FAO, 2006: Food & Agriculture Organisation (FAO) of the United Nations – The Sixth World Food Survey – 2006 (www.gmfs.info).
- GMFS, 2004: GMFS Report C1 – Policy foundations review – October 2004 (www.gmfs.info).
- GMFS, 2006a: GMFS S3 Service Prospectus (www.gmfs.info).
- GMFS, 2006b: GMFS S3 Service Portfolio Technical Specifications (www.gmfs.info).
- GMFS, 2007: GMFS C5 Service Validation Protocol. – ESA deliverable (www.gmfs.info).
- GMFS, 2008: GMFS S6 Service Operation Report. – ESA deliverable (www.gmfs.info).
- HAUB, C., 2007: GSE Global Monitoring for Food Security (GMFS) – “Food Security Information Services for Africa”. – Bridging the divide through partnerships 2007. Wichmann Verlag, Heidelberg, 154–161.

Address of the First Author:

Dipl.-Ing. agr. CARSTEN HAUB, EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH, Abteilung Landschaftsökologie & Umweltmanagement, Oststrasse 2–18, D-48145 Münster, Tel.: +49-251-13307-0, Fax: +49-251-13307-33, e-mail: carsten.haub@eftas.com

Manuskript eingereicht: Mai 2008

Angenommen: Juni 2008

Fernerkundungskontrolle von europäischen Agrarbeihilfen für Acker- und Futteranbauflächen

CORDT BÜKER, Münster & PETER DITZ, Schwerin

Keywords: INVEKOS, LPIS, Feldblock, Flächenkontrolle, Nutzungsanalyse

Summary: *Remote Sensing Control of European Agricultural Subsidies of Arable and Forage Areas.* This paper gives an overview on the process development for remote sensing based monitoring of area based subsidies in the case of the federal state Mecklenburg-Vorpommern. During the past 14 years the process has experienced a great change from analysis after intensive manual map work to sophisticated use of GIS with various layers based on high resolution image data.

Zusammenfassung: Dieser Beitrag gibt einen Überblick über die Verfahrensentwicklung zur Fernerkundungskontrolle flächenbasierter Agrarbeihilfen am Beispiel Mecklenburg-Vorpommerns. In den vergangenen 14 Jahren hat das Verfahren einen starken Wandel erfahren von der Auswertung nach intensiver manueller Kartenbearbeitung hin zu einer ausgeklügelten GIS-Nutzung mit zahlreichen Informationsebenen auf Basis hochauflösender Bilddaten.

1 Einleitung bzw. Einführung

Im Rahmen der gemeinsamen Agrarpolitik der Europäischen Gemeinschaft wurden 1992 die flächengebundenen Ausgleichszahlungen in der Landwirtschaft beschlossen (Verordnung – VO (EWG) 1765/1992), um die im Vergleich zum Weltmarkt höheren Erzeugungskosten in der EU auszugleichen. Die Mitgliedsstaaten wurden mit den VO (EG) 3508/1992 und VO (EG) 3887/1992 (aktualisiert zuletzt durch VO (EU) 1782/2003 und VO (EU) 796/2004) zur Einführung eines „Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystems“ (inVeKoS) verpflichtet, welches im Rahmen der geforderten Vor-Ort-Kontrollen (VOK) den Einsatz der Fernerkundung als Kontrollinstrument festlegt. Die Fernerkundungskontrolle (FEK) im Auftrag der Landwirtschaftsverwaltungen startete für die EFTAS GmbH im Jahr 1994 mit den Bundesländern Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen-Anhalt, Sachsen und Baden-Württemberg. In diesem Jahr wurden in 7 Kontrollzonen insgesamt 390 Betriebe kontrolliert. 14 Jahre später, im

Jahr 2008 werden über 7000 Betriebe in 18 Kontrollzonen pro Jahr kontrolliert. Insgesamt sind damit bisher rund 75.000 Betriebe in über 180 Kontrollzonen für die Verwaltung geprüft worden. Die Ausweitung dieses Geschäftsbereichs ging einher mit einer kontinuierlichen Weiterentwicklung des Verfahrens, der Datengrundlagen und der eingesetzten Soft- und Hardware. Der folgende Artikel beschreibt diese Methodenentwicklung am Beispiel Mecklenburg-Vorpommerns (MV), welches seit den ersten Tagen der Fernerkundungskontrolle zu den Auftraggebern der EFTAS GmbH zählt.

2 Auswahl von Kontrollzonen und Kontrollbetrieben

Nach Art. 26 der VO (EU) 796/2004 sind mindestens 5% aller Antragsteller eines Mitgliedsstaates, die einen entsprechenden Antrag auf Flächenbeihilfen gestellt haben, mittels Vor-Ort-Kontrollen zu überprüfen. Lt. Art. 32 der o.g. VO besteht die Möglichkeit, VOK-„Flächen“ ganz oder teilweise durch Fernerkundung abzudecken.

Der Kontrollumfang für die Kontrolle durch Fernerkundung und die Auswahl der Kontrollzone(n) werden in MV durch das Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt- und Verbraucherschutz (LU) festgelegt. Dazu wird wie folgt vorgegangen:

a) Auswahl der Kontrollzone(n)

Die Anzahl der jährlichen Kontrollzonen richtet sich nach der Anzahl der zu kontrollierenden Betriebe sowie den zur Verfügung stehenden finanziellen Mitteln für die FEK. Entsprechend Art. 32 Abs. 2 o.g. VO erfolgt die Festlegung der Kontrollzonen in MV ausschließlich nach dem Zufallsprinzip.

In die Zufallsauswahl werden als möglicher Zonenmittelpunkt alle Gemeinden einbezogen, deren Abstand zur Landesgrenze bzw. zur Ostsee mindestens 20 km (Durchmesser einer Kontrollzone 50 km) beträgt. Die Insel Rügen wird auf Grund der besonderen Lage als möglicher Zonenmittelpunkt mit einbezogen. Aus diesen Gemeinden wird anhand der Gemeinde-Nr. per Zufall die erste Kontrollzone ermittelt. Entsprechend wird die nächste Kontrollzone ermittelt. Bei Überlappung dieser Zone um mehr als 20 % mit einer schon ermittelten Zone, ist eine neue Zufallsauswahl zu treffen.

b) Auswahl der Betriebe innerhalb einer Zone

Es wurden bisher alle Betriebe ermittelt, deren Antragsflächen des Vorjahres zu 100 % in der Zone lagen. Für die folgende Risikoanalyse wird festgelegt, wie viel Antragsteller aus der zuvor ermittelten Grundgesamtheit ausgewählt werden sollen.

Die Auswahl der Unternehmen erfolgt anhand einer Risikoanalyse entsprechend Art. 27 der VO (EU) 796/2004. Die so ermittelten Betriebe werden durch Fernerkundung im aktuellen Antragsjahr hinsichtlich der Beihilfevoraussetzung (für verschiedene Flächenanträge) geprüft.

3 Antragsunterlagen der Landwirte und Bearbeitung des Antrags

Die landwirtschaftlichen Unternehmen stellten ihren jährlichen Antrag auf Agrarförderung bis zum Jahr 2004 auf der Grund-

lage der von ihnen genutzten Flurstücke. Das bis zu diesem Zeitpunkt gültige Referenzsystem zur Kontrolle der Agraranträge war das Liegenschaftskataster der Katasterverwaltung der Landkreise.

In Mecklenburg-Vorpommern wurden aufgrund fehlender bzw. nicht örtlicher Erkennbarkeit der Flurstücksgrenzen (Beseitigung der Grenzsteine im Zuge der Bodenreform nach 1945) die Angaben zu den Flächen in 2 Schritten vollzogen.

Im ersten Schritt hatte der Landwirt einen „Flächennachweis“ auszufüllen, in dem er die von ihm genutzten Feldstücke mit den entsprechenden Flurstücksangaben möglichst genau untersetzte. Dabei definierte sich das Feldstück wie folgt: Ein „Feldstück“ ist eine zusammenhängende Fläche eines Landwirtes, welche durch natürliche Grenzen sowie durch Nachbarschaftsgrenzen gebildet wird und sich aus der Summe der dazugehörigen Flurstücke bzw. Teilflurstücke ergibt.

Im zweiten Schritt erklärte der Landwirt dann im so genannten „Nutzungsnachweis“ die von ihm beantragten Parzellen, deren Angabe die Grundlage für die Zahlungen und somit auch die Grundlage für die entsprechenden Kontrollen einschließlich der Fernerkundung darstellte. Die Parzelle ist eine zusammenhängende, mit einer Kulturart bebaute Fläche eines Landwirtes in einem Feldstück (ohne Angabe der dazugehörigen Flurstücke bzw. Teilflurstücke). Dazu musste der Landwirt für Kontrollzwecke entsprechendes Kartenmaterial bereithalten bzw. abgeben, aus denen die Lage der Antragsparzelle erkennbar war. Diese graphische Angabe diente ausschließlich der Lokalisierung der beantragten Parzellen für Kontrollzwecke (siehe Abb. 1 und 2).

Mit der Einführung und Umsetzung eines Flächenidentifizierungssystems auf der Grundlage von Orthophotos entsprechend der VO (EG) 1593/2000 entschied sich MV aufgrund der regionalen Gegebenheiten zur Anwendung des „Feldblockkatasters“ als das ab 2005 geltende Referenzsystem.

Dabei ist der Feldblock (FB) wie folgt definiert: Ein FB ist eine zusammenhängende landwirtschaftlich genutzte Fläche mit (rela-

Vor dem Ausfüllen bitte die Hinweise dazu aufmerksam lesen!

Anlage Flächennachweis spätester Abgabetermin beim Amt: 31.03.2004 ! Nummer des Unternehmens bzw.
 Barcodeaufkleber

Mecklenburg-Vorpommern

Unternehmen: _____ Ort: _____ Blatt Nr.: _____

Der mir/uns zur Verfügung gestellte Flächenausdruck des Vorjahres ist Bestandteil der "Anlage Flächennachweis 2004" Ja Nein von Blättern: _____

I.d. Nr.	Feldstück Nr.	Bundesland	Kreis	Gemeinde	Flächenangaben lt. Kataster				Größe			davon tatsächlich bewirtschaftete Fläche			E P B N	Bindung für andere Förderprg. Verpflichtg. Schlüssel Nr.	K A T Z	Prüfvermerk des Amtes	
					Nummer	Bezeichnung	der Flur	d. Flurstücks	ha	ar	m ²	ha	ar	m ²					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

Abb. 1: Anlage „Flächennachweis“ (Ausschnitt).

Vor dem Ausfüllen bitte die Hinweise dazu aufmerksam lesen!

Anlage Flächennachweis spätester Abgabetermin beim Amt: 31.03.2004 ! Nummer des Unternehmens bzw.
 Barcodeaufkleber

Mecklenburg-Vorpommern

Unternehmen: _____ Ort: _____ Blatt Nr.: _____

Der mir/uns zur Verfügung gestellte Flächenausdruck des Vorjahres ist Bestandteil der "Anlage Flächennachweis 2004" Ja Nein von Blättern: _____

I.d. Nr.	Feldstück Nr.	Bundesland	Kreis	Gemeinde	Flächenangaben lt. Kataster				Größe			davon tatsächlich bewirtschaftete Fläche			E P B N	Bindung für andere Förderprg. Verpflichtg. Schlüssel Nr.	K A T Z	Prüfvermerk des Amtes	
					Nummer	Bezeichnung	der Flur	d. Flurstücks	ha	ar	m ²	ha	ar	m ²					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

Abb. 2: Anlage „Nutzungsnachweis“ (Ausschnitt).

Anlage Flächen zum Sammelantrag 2006 für Antragsteller in Mecklenburg-Vorpommern Dok.-Nr.: 3

Unternehmen: _____ Unternehmensnummer: _____ Blatt Nr.: _____ von _____

I.d. Nr.	Feldblockident	Parzellen Nr.	festgestellte Fläche (Netto ohne LE) 2005	beantragte Fläche (Netto ohne LE) 2006	beantragte Landschaftselemente (Summe LE/Parz.) 2006	10-Monatszeitraum 0/1/2	Nutzungs- bzw. Stilllegungsart 2006	Ausgangsergebnis bei NWR	Sorte bei Lupine, Hanf, Tabak	Bindung für andere Förderprogramme Verpflichtg. Schlüssel Nr.	Beginn des Verpflichtungszeitraumes	Bemerkungen			
			ha, ar	ha, ar	ha, ar		Bezeichnung				Code		Datum		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16

Abb. 3: Anlage „Flächen“ (Ausschnitt).

tiv) dauerhaften Außengrenzen (landwirtschaftliche Außengrenze), die von einem oder mehreren Erzeugern bewirtschaftet wird und die mit einer oder mehreren Fruchtarten bestellt oder ganz oder teilweise stillgelegt ist. Als Außengrenzen sind auch Landes- und Fördergebietsgrenzen sowie Grenzen zwischen bestimmten Bodennutzungskategorien anzusehen. Die Erstellung

der FB erfolgte getrennt mindestens nach den Hauptnutzungsarten Acker- oder Dauergrünland oder Dauerkulturen aus Luftbildern der Jahre 2002 und 2003 und wird weiter ständig aktualisiert.

In MV erfolgte folglich die konsequente Loslösung vom Flurstück hin zu einer aus einem Luftbild digitalisierten, entsprechend den natürlichen Gegebenheiten genutzten

landwirtschaftlichen Fläche, dem Feldblock. Dieser stellte ab 2005 die Grundlage für die Beantragung der Parzellen für die flächengebundenen Agrarbeihilfen in der Anlage „Flächen“ des Agrarantrages dar. Gleichzeitig war der Landwirt verpflichtet mit seinem Antrag die entsprechenden Lage-skizzen für die jeweiligen Parzellen einzu-reichen. Durch die Einführung der neuen Referenz Feldblock war es erforderlich die Antragsunterlagen anzupassen (siehe Abb. 3 und 4).

Ab dem Jahr 2007 erhielten alle Landwirte ihre Antragsunterlagen in digitaler Form auf CD, vorbelegt mit den Vorjahresdaten. Des Weiteren enthielt der Landwirt mit dieser CD das aktuelle Feldblockkataster sowie eine weitere CD mit den zur Verfügung stehenden aktuellsten Luftbildern (Rasterdaten).

Nach Antragsingang werden dann die Daten für die Betriebe, die zur Kontrolle mittels Fernerkundung ausgewählt wurden möglichst zeitnah erfasst, einer Erst-Plausi-bilisierung unterzogen und der EFTAS

GmbH zur weiteren Auswertung im Rah-men der Fernerkundung einschließlich der Skizzen übergeben.

Die gelieferten Kontrollergebnisse aus der FEK fließen danach wiederum in die weitere Antragsbearbeitung ein bzw. lösen als Auf-trag ggf. eine herkömmliche VOK durch das Amt für Landwirtschaft aus. Dabei sind all die landwirtschaftlichen Betriebe einer Nachkontrolle zu unterziehen, deren Anträge als „falsch“ oder „unvollständig“ eingestuft wurden. Darüber hinaus sind mindes-tens 2% der als „richtig“ eingestuften Un-ternehmen zur Qualitätskontrolle durch den Auftraggeber nachzuprüfen.

4 Lokalisierung und Erfassung der Kontrollflächen

Für eine Flächenkontrolle auf der Grund-lage georeferenzierter Bilddaten müssen zu-nächst die betreffenden Flächen mit Hilfe geeigneter Kartengrundlagen identifiziert werden. In den ersten beiden Jahren der

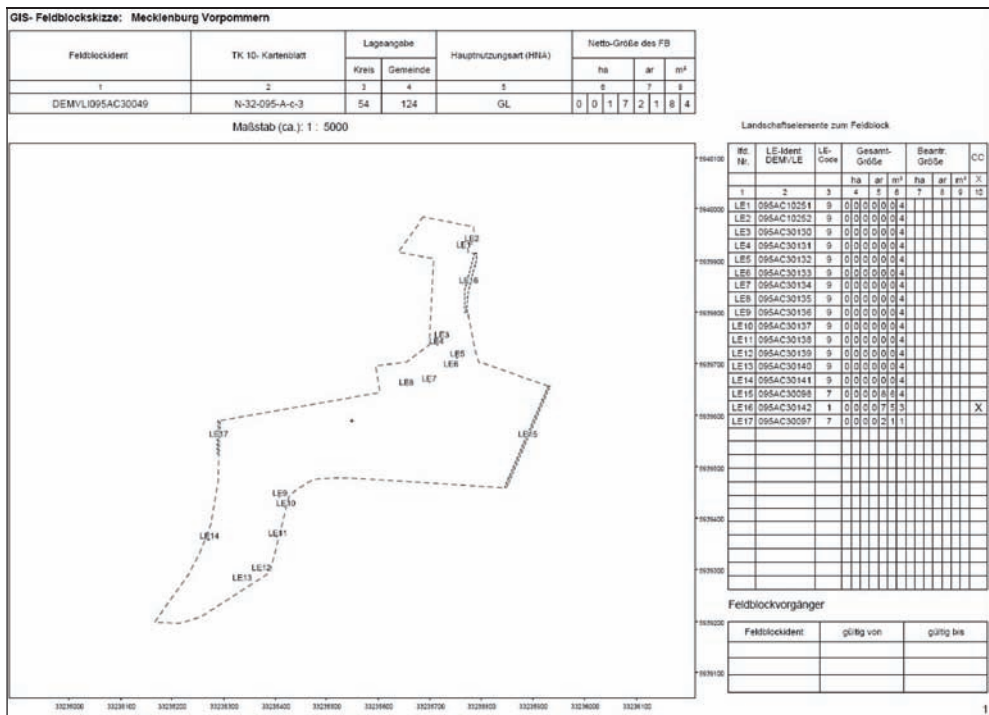


Abb. 4: Feldblockskizze zur Einzeichnung der jeweiligen Lage der Parzelle(n).

FEK (1994, 1995) wurden von den lokalen Dienststellen des Auftraggebers, den Ämtern für Landwirtschaft, Flurkarten bereitgestellt, in denen die Lage der beantragten Flächen gekennzeichnet war (siehe Abb. 5). Bei den Flurkarten handelte es sich um Inselflurkarten in Maßstäben zwischen 1:1.000 und 1:5.000, die je Kartenblatt eine Flur einer Gemarkung zeigten (siehe Abb. 6). Die eingetragenen Flächen wurden als Feldstücke bezeichnet. Sie sind von einzelnen Landwirten zusammenhängend genutzt, aber u.U. mit unterschiedlichen Kulturen bestellte Flächen. Aufgrund der noch fehlenden Erfahrungen mit dieser Art von Kontrollen bei der EFTAS GmbH wie auch in Mecklenburg-Vorpommern wurden die Landwirte eigens für die Eintragungen der Feldstücke mit farbigen Stiften in die Karten in das jeweilige Amt bestellt. Dies war mit hohem Verwaltungsaufwand verbunden und machte außerdem eine vom Antragsteller unbemerkte Kontrolle unmöglich, weshalb in den nachfolgenden Jahren ein anderes Verfahren zur Flächenidentifizierung entwickelt wurde. Die Flurkarten mit den eingezeichneten Feldstücken wurden neben die Bildbearbeitungsstationen gelegt, auf denen die Flächenkontrolle stattfand. Die Digitalisierung der einzelnen Parzellen erfolgte nach visuellem Vergleich der Bilddaten mit den Eintragungen auf den Karten.

Zwischen 1996 und 2002 wurden immer noch Flurkarten bereitgestellt, zunächst ausschließlich als Papierausgabe in Größen bis 1 m × 1,2 m, zuletzt teilweise sogar in di-

gitaler Form im Shapeformat. Die Landwirte beantragten ihre Flächen auf Basis ihrer Katasterflurstücke – daher erhielt die EFTAS vom Auftraggeber die Flurstückslisten der ausgewählten Kontrollbetriebe, sobald diese der Verwaltung vorlagen. In den Flurkarten in Papierform wurden die von den Landwirten beantragten Flurstücke dann von den EFTAS-Mitarbeitern farbig markiert und einzeln abdigitalisiert. Die Inselflurkarten hatten jedoch i.d.R. keine Koordinaten und waren auch selten genodet. Um die erfassten Flurstückspolygone wenigstens annähernd in der Nähe des Kontrollgebietes abbilden zu können sind je Inselflurkarte vor der Digitalisierung vier Hilfspasspunkte auf der Karte eingetragen worden, deren Lage zuvor aus einer Gemarkungskarte des Landes abgegriffen worden war. Je Kartenblatt entstand so ein Flurstücksverband, der bei Darstellung über einer georeferenzierten Satellitenaufnahme noch an seine korrekte Lage verschoben und nach Norden ausgerichtet wurde. Danach erhielt man ein Mosaik beantragter und digital vorliegender Flurstücke, die anhand ihrer Attribute in Beziehung zu den Antragsdaten der Kontrollbetriebe gesetzt wurden. Eine GIS-gestützte Auflösung jeweils zusammen beantragter Flurstücke ergab die Feldstückspolygone, die bei Überlagerung der Bilddaten den Ausgangspunkt für die Digitalisierung der einzelnen Parzellen bildeten.

Ab 2005 wurden digitale landwirtschaftliche Katasterflächen in Form von Shapeda-

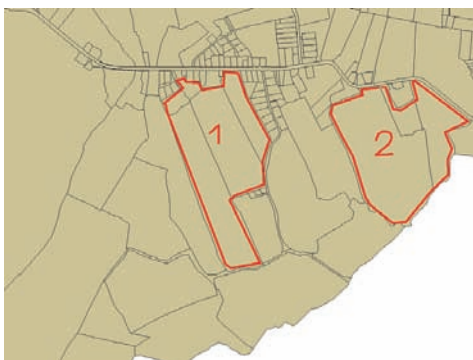


Abb. 5: Feldstücke in Flurkarte.

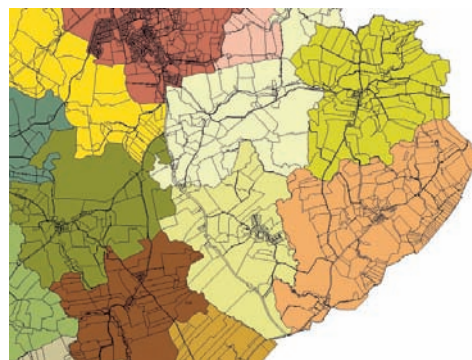


Abb. 6: Zusammengesetzte Inselflurkarten.

ten aus dem LPIS-Register bereitgestellt. Das LPIS-Register (Land Parcel Information System) war, einer EU-Verordnung folgend (VO (EG) 1593/2000), für jeden Mitgliedsstaat erstellt worden, und umfasst in Mecklenburg-Vorpommern die landwirtschaftlich nutzbaren Flächen innerhalb von sogenannten Feldblöcken (wie schon in Kapitel 3 erläutert). Diese können von mehreren Bewirtschaftern mit mehreren Kulturen genutzt werden und sind von anderen Feldblöcken durch Wege-, Wasser-, Wald- oder Siedlungsflächen getrennt. Seit 2005 gibt es auch einen zusätzlichen Teil des LPIS-Registers, in dem die landwirtschaftlich nutzbaren Landschaftselemente in der Form von Polygonen enthalten sind. Die Angabe einer entsprechenden LPIS-ID für jede Parzelle beim Flächenantrag durch die Landwirte ermöglicht die schnelle Identifizierung des betreffenden Polygons und die anschließende Digitalisierung der darin enthaltenen Parzellen nach Darstellung über den geometrisch korrigierten Bilddaten.

5 Bilddatengrundlagen

Zur Nutzungsanalyse werden seit Beginn der Kontrollen aufgrund der engen Beziehung der Vegetationsparameter Dichte und Vitalität zur elektromagnetischen Strahlung im sichtbaren Bereich und im Nahen Infrarot georeferenzierte Bilddaten vor allem optischer Sensoren eingesetzt. Ihre Nutzbarkeit wird durch Bewölkung erheblich einge-

schränkt, da die Bildinformation dann nur noch aus der weißen Wolkenfläche besteht. RADAR-Daten, die die Landoberfläche unabhängig von der Bewölkungsdichte abbilden haben sich als mögliche, bisher aber als schlechtere Alternative erwiesen.

In den ersten sechs Jahren der FE-Kontrolle waren ausschließlich Satellitenaufnahmen der Erderkundungssatelliten Landsat (Sensor TM), SPOT (Sensor 2, PAN und XS) und IRS (Sensor 1C, PAN und LISS, ab 1997) verfügbar. Die beste geometrische Auflösung lieferten panchromatische IRS- und SPOT-PAN-Aufnahmen mit 5,8 m bzw. 10 m Bodenaufklärung. Die übrigen Aufnahmen, waren vom Typ Color-Infrarot mit je einem Spektralkanal im Grün, Rot und Nahen Infrarot, hatten Auflösungen von 20 m (SPOT), 23 m (IRS) und 30 m (Landsat). Vom IRS und dem Landsat-Satelliten wurden darüber hinaus Spektralinformationen im Mittleren Infrarot bereitgestellt; diese jedoch z.T. mit erheblich geringerer Auflösung. Ab 2001 kamen Aufnahmen vom Satelliten SPOT-4-XI (gleiche Auflösung wie SPOT-2) und ab 2004 kamen Aufnahmen vom Satelliten SPOT-5-XI (2,5 m panchromatisch, 10 m in Farbe) hinzu (siehe Abb. 7 und 8 für Bildbeispiele).

Aufgrund der besseren geometrischen Auflösung wurden die panchromatischen Aufnahmen insbesondere zur Flächenabgrenzung herangezogen während die Color-Infrarot-Bilder der (Land-)Nutzungsanalyse dienen. Je Kontrollzone werden im Zeit-

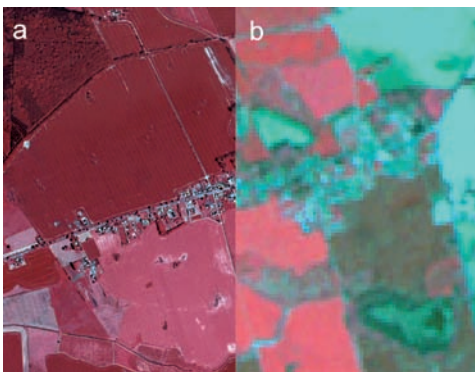


Abb. 7: Zone BEHN 2006, CIR-Luftbild (a) und IRS-P6-Aufnahme (b).



Abb. 8: Zone FAHR 2007, IKONOS (CIR (a) und Echtfarbe (b)), SPOT-XS (c), SPOT-Xi5 (d).

raum April bis Juli bis zu 3 Aufnahmen durch die Gemeinsame Forschungsstelle der EU in Ispra bereitgestellt. Dabei erhält derjenige Satellitenbetreiber den Zuschlag, der als erster eine wolkenfreie Aufnahme für einen bestimmten Zeitraum liefern kann.

Die FEK war von Anfang an ständig steigenden Anforderungen an die Genauigkeit bei der Flächenabgrenzung unterworfen. Da die bereitgestellten Satellitenaufnahmen diese Anforderungen nicht mehr erfüllen konnten, war schließlich der Einsatz von Luftbildern die logische Konsequenz. Seit 2000 werden in Mecklenburg-Vorpommern die Kontrollzonen mit Color-Infrarot-Film (Kodak Aerochrome IR-III, 1443) im Maßstab 1:34.000 bis 1:40.000 befliegen. Diese Befliegung wird von privaten Befliegungsunternehmen durchgeführt. Der belichtete analoge Film wird anschließend entwickelt und gescannt. Die digitalen Aufnahmen werden dann bei der EFTAS GmbH mit Hilfe eines Geländemodells und anhand von Passpunktinformationen zu digitalen Orthophotos mit einer Auflösung von 1 m verarbeitet.

Ab 2004 werden für etwa die Hälfte der Kontrollzonen regelmäßig hochauflösende Satellitendaten der Satelliten IKONOS oder Quickbird als Alternative bereitgestellt. Diese stellen in Punkto Auflösung (0,6 m für Quickbird; 1 m für IKONOS) und Spektralinformation (Echtfarbe und CIR) einen vollwertigen Ersatz für die CIR-Luftbilder dar (RELIN et al. 2003).

6 Software zur Flächenabgrenzung und Attributierung sowie Bewertung der Ergebnisse

In den beiden ersten Jahren der FEK bei der EFTAS GmbH wurde die Bildverarbeitungssoftware ERDAS (Version 7.5) für die Abgrenzung der Kontrollflächen und die Analyse ihrer Nutzung verwendet. Zur Digitalisierung der Flächen und ihre Attributierung wurden ausschließlich die im Standardumfang der Software enthaltenen Werkzeuge genutzt. Die Auswertung der einzelnen Parzellenergebnisse und die Be-

richtserstellung erfolgte mit Hilfe des Datenbankprogramms dBase.

Die Analyse der Nutzung unbekannter Parzellen basiert in der Regel auf einem visuellen Vergleich ihrer Spektralwerte mit denen bekannter Flächen, deren Nutzung im Rahmen einer aktuellen und begrenzten Feldkartierung gegen Ende Mai erhoben wurde. Die visuelle Nutzungsanalyse wurde häufig von Klassifizierungsergebnissen auf der Basis multispektraler und multitemporaler Satellitendaten unterstützt. Den aus einer unüberwachten Klassifizierung stammenden Klassen wurden dann mit Hilfe von Trainingsflächen aus der Feldkartierung die bekannten Nutzungen zugewiesen. Das Klassifizierungsergebnis gab einen ersten Hinweis auf die wahrscheinliche Hauptnutzung einer Fläche. Die endgültige Entscheidung über die Zuweisung einer analysierten Nutzung lag jedoch immer beim jeweiligen Bearbeiter.

Im Jahre 1996 wurde die von der Firma daVinci aus Belgien programmierte Anwendung MapAGRI für die Flächenabgrenzung und Attributierung eingesetzt. Diese Anwendung lief unter dem Software-Kernel von MapINFO und stellte Funktionen und Werkzeuge speziell für die Flächenkontrolle bereit. Für die folgenden fünf Jahre wurde dieses Programm auf vielen Arbeitsstationen im Schichtdienst während der Monate Juni und Juli eingesetzt. Für die Auswertung der Parzellenergebnisse und die Berichterstellung wurde seit 1996 das Datenbankprogramm ACCESS genutzt.

Im Laufe der Jahre nahm die Nutzung von Vektordatenbeständen stark zu. So wurden nicht nur die Ergebnispolygone sondern auch die Flurstücke, die daraus erzeugten Feldstücke und die Vergleichs- bzw. Trainingsflächen als digitale Vektordaten erfasst und weiterverarbeitet. Von den Auftraggebern wurden Informationen über die beantragten Flurstücke zunehmend im Format der EDBS-ALK geliefert. Die steigenden Anforderungen an Performance, Leistungsumfang und Komfort der eingesetzten GI-Software führten 2001 schließlich zu einem Wechsel zum Desktop-Programm ArcView (Version 3.2). Hierfür wur-

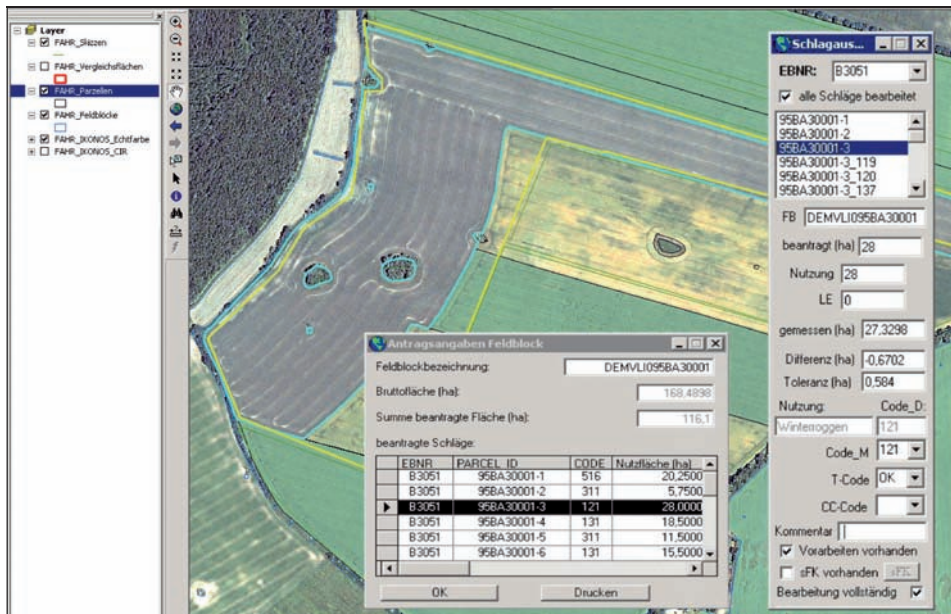


Abb. 9: Bildschirmoberfläche ArcGIS mit AgroSurvey-Tool, Zone FAHR 2007.

de die Anwendung AgroSurvey mit den für die Flächenkontrolle zusammengestellten Funktionalitäten extern programmiert.

Ab 2004 erfolgte die Flächenabgrenzung und -attributierung mit der Software ArcGIS (Version 8.2; siehe Abb.9). Hier sind alle Sach- und Vektordaten in einer Geodatenbank zusammengeführt und können bequem in einer Datei auf den Arbeitsstationen eingerichtet werden. Die von der EFTAS GmbH programmierte Erweiterung AgroSurvey verknüpft die Daten und ermöglicht dem Bearbeiter durch die Bereitstellung geeigneter Funktionalitäten eine effektive Flächenkontrolle. Die Flächenabgrenzung wird durch die Anzeige der gemessenen Fläche, der berechneten Werte für Differenz und Toleranz und der Angabe der Referenzflächenaufteilung auf einzelne Parzellen unterstützt. Die Attributierung der Parzellen wird durch die Anzeige ausgewählter Vergleichsflächen und die Bereitstellung von Auswahllisten erleichtert.

7 Toleranzen bei der Bewertung der Ergebnisse

Die Bewertung der Fernerkundungsergebnisse führt immer auch zu einer Einstufung des kontrollierten Betriebes in bestimmte Kategorien, die hier umgangssprachlich als „richtig“ oder „falsch“ bezeichnet werden. Zusätzlich gibt es bei der FEK, anders als bei der VOK, bei der immer eine Messung durchgeführt wird, die Möglichkeit, dass aus technischen Gründen (z. B. Wolken auf den Bilddaten oder fehlende Referenzflächen) kein eindeutiges Ergebnis erzielt werden kann. Dann werden einzelne „nicht kontrollierbare“ Flächen mit bestimmten technischen Codes versehen und die betreffenden Betriebe ggf. als „unvollständig“ eingestuft. Die endgültige Plausibilisierung des Controllergebnisses erfolgt dann im Rahmen der VOK.

Für die Beurteilung der Messergebnisse werden unter Berücksichtigung der technischen Messgenauigkeiten entsprechende Toleranzen zugrunde gelegt, ob auf der Basis einer einzelnen Fläche (ha-Wert eines so-

nannten Schlages) oder auf der Basis eines Betriebes (ha-Summe aller Flächen). Da mit der Weiterentwicklung des Kontrollverfahrens immer genauere Bilddaten genutzt wurden, verschärfen sich auch die Kriterien zur Einstufung der Einzelflächen oder Betriebe in verschiedene Kategorien.

Eine Beurteilung von Einzelflächen durch einen Vergleich von beantragter und gemessener Flächengröße erfolgte erst im Jahr 1996. Die sogenannte Schlagtoleranz berechnete sich aus dem Produkt von individuellem Flächenumfang und konstantem Faktor. Ist der Differenzbetrag zwischen beantragter und gemessener Fläche kleiner als die jeweilige Schlagtoleranz, so wird der Antragswert für die weiteren Berechnungen verwendet, ist er größer als die jeweilige Schlagtoleranz, so wird der Flächeninhalt der gemessenen Fläche verwendet. Die Entwicklung der Schlagtoleranz zwischen 1994 und 2008 ist in Tab. 1 dargestellt. Die zunehmende Leistungsfähigkeit von GI-Softwareprodukten war (und ist) Voraussetzung und Motor für die Verschärfung der Schlagtoleranz.

Nach der Bewertung der Einzelflächen eines Betriebes erfolgt die Bewertung des Gesamtbetriebes zur Einstufung in die bereits oben erläuterten Kategorien. Hierfür werden alle Einzelmessungen aufsummiert und der Summe der beantragten Flächen gegenübergestellt. Die dabei angewendeten Toleranzen sind in den Graphen auf der folgenden Seite dargestellt. Die negativen Flächenabweichungen auf Betriebsebene werden anhand bestimmter Grenzwerte in Kategorien eingeteilt. Bis zum Jahr 2001 resultierten negative Abweichungen bis zu einer

gewissen Größe noch nicht zwangsläufig in einer Beanstandung des Betriebes. Erst ab 2002 wurden alle Betriebe mit mindestens einem Ar (100 m^2) Abweichung beanstandet, hinsichtlich der Größe der Abweichung jedoch noch unterschieden. Eine Toleranz zur Beurteilung der Signifikanz einer Abweichung auf der Betriebsebene, wie auf der Basis der Einzelflächen, gibt es laut Vorgabe nicht mehr.

8 Durchführung von Vor-Ort-Kontrollen (VOK) bei der Verwaltung

Gem. Art. 29 der VO (EU) 796/2004 erstreckt sich die Vor-Ort-Kontrolle auf alle landwirtschaftlich genutzten Parzellen eines für die VOK ausgewählten Betriebes. Die tatsächliche Feldbesichtigung im Rahmen der VOK kann jedoch auf eine Stichprobe von mindestens der Hälfte der landwirtschaftlichen Parzellen begrenzt werden, für die Anträge gestellt wurden.

Die Kontrolle dient der Überprüfung der Angaben in den flächenbezogenen Anträgen bzw. Antragsbestandteilen in Bezug auf die Lage der Fläche, ihre tatsächliche Größe und Nutzung sowie die Einhaltung der übrigen in den entsprechenden Verordnungen vorgeschriebenen Bedingungen.

Die VOK im Bereich flächenbezogener Maßnahmen besteht in der Regel aus zwei Schritten:

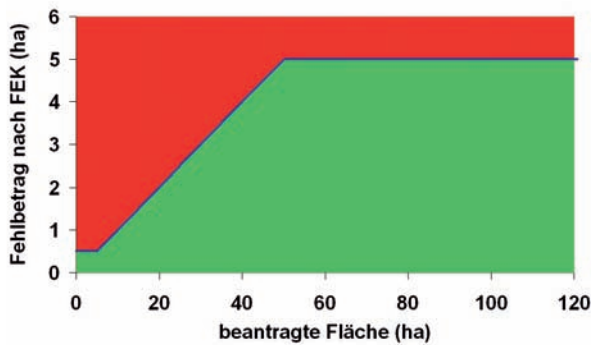
8.1 Erster Schritt – Vorbereitung

Im ersten Schritt werden die Beihilfefähigkeit und die Flächengröße aller angegebenen landwirtschaftlichen Parzellen auf der Grundlage von Kartenmaterial, Luftaufnahmen u. a. vorläufig überprüft. Dieses ist manuell durch einen visuellen Abgleich u. a. mit dem GIS vorzunehmen.

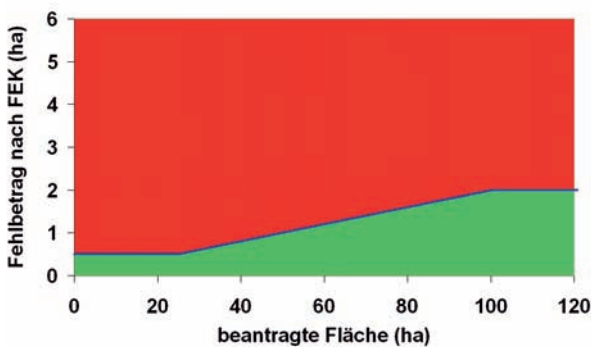
Im Rahmen der Vorbereitung erfolgt eine Stichprobenauswahl der zu kontrollierenden Parzellen auf der Grundlage der gemäß Artikel 29 in Verbindung mit Artikel 26 Absatz 4 der VO (EU) 796/2004 festgelegten Kriterien. Im Rahmen der Vorbereitung der VOK wird festgelegt, welche Parzellen nicht nur zu besichtigen, sondern auch zu vermes-

Tab. 1: Entwicklung der Schlagtoleranzen.

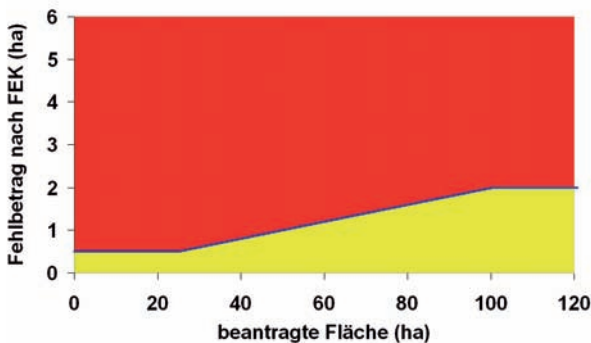
bis 1996	-/-
ab 1997	$3\text{ m} \times \text{Umfang (m)}$
ab 2000	$1,5\text{ m} \times \text{Umfang (m)}$
ab 2003	$1,5\text{ m} \times (\text{äußerer}) \text{ Umfang (m)}$
ab 2007	$1,5 \times (\text{äußerer}) \text{ Umfang (m)}$ $\times \text{Pixelgröße (m)}$



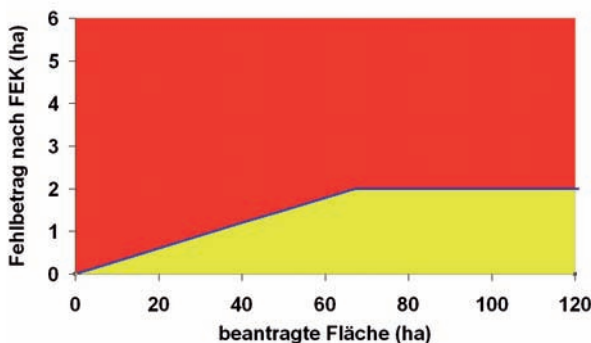
1994: Abweichungen unterhalb der blauen Trennlinie wurden nicht beanstandet. Betriebe über 50 ha Antragsfläche wurden bei fünf Hektar maximaler Abweichung pro Kulturartenblock noch akzeptiert.



1999: In den vergangenen fünf Jahren erfolgte eine stufenweise Verschärfung der Beurteilungskriterien. Betriebe über 100 ha Antragsfläche wurden bei zwei Hektar maximaler Abweichung pro Kulturartenblock noch akzeptiert.



2002: Jeder Betrieb mit mindestens einem Ar (100 m^2) Abweichung wird beanstandet. Die Beanstandungen werden unterschieden hinsichtlich geringfügiger (gelb) und erheblicher Anweichungen (rot).



2007: Die Unterscheidung hinsichtlich der Schwere der Beanstandung beginnt ab dem ersten Ar (100 m^2) mit einer Drei-Prozent-Schwelle. Ab 66,7 ha Betriebsfläche werden alle Abweichungen über zwei Hektar als erheblich eingestuft.

sen sind. Weiterhin sind sämtliche vorhandenen Antragsunterlagen (z. B. Unterlagen zur Flächenidentifizierung, Vertragskopien zu nachwachsenden Rohstoffen) und die Ergebnisse der bisherigen Verwaltungskontrolle einzubeziehen.

8.2 Zweiter Schritt – Kontrolle vor Ort

Der Betriebsinhaber ist zu Beginn der VOK über die Kontrollmodalitäten zu informieren.

Insbesondere sind zu erläutern:

- die Bestimmung über die zu vermessenden Flächen,
- Methoden und Instrumente der Flächenvermessung,
- Angabe der Toleranzmarge für die unterschiedlichen Messmethoden,
- Erläuterung „Anbaufläche“; als Fläche gilt die in die Ebene projizierte Fläche,
- als Kontrollparzelle gilt die mit Kulturen einer Kulturgruppe bebaute/-bewachsene bzw. aus der landwirtschaftlichen Erzeugung genommene, sowie stillgelegte und für die gleiche/n Beihilfemaßnahme/n beantragte Fläche eines Landwirts.

Die bei der Vorbereitung getroffene Vorauswahl der Stichprobe der vor Ort zu prüfenden Parzellen ist in jedem Fall zu kontrollieren; sie kann von den Prüfern bei Bedarf vor Ort ergänzt werden. Die Feldbesichtigung dient der Überprüfung der angegebenen Kultur und ihres Zustandes sowie der tatsächlichen Lage und Größe der Parzellen. Festgestellte Verstöße sind im Prüfbericht und für eine spätere Nachweisführung zusätzlich fotografisch zu dokumentieren.

Nebeneinander liegende Antragsparzellen, die zu einer Kulturgruppe gehören und für die die gleichen Beihilfemaßnahmen beantragt sind, sind gemeinsam zu vermessen. Für die Toleranzberechnung dieser Antragsparzellen ist der Außenumfang der Kontrollparzelle maßgebend.

Für jede vermessene Fläche ist ein/e Ausdruck/Skizze zu fertigen, in der die Messergebnisse und die Berechnung der Flächengröße enthalten/einzutragen sind. Die Fest-

stellungen der VOK sind in einem Bericht (Prüfbericht für Vor-Ort-Kontrollen) zu dokumentieren.

Die Kontrollergebnisse der Fernerkundung werden den Kontrollbehörden durch die EFTAS GmbH bis Ende Juli eines Jahres mitgeteilt. Damit ist gewährleistet, dass eventuelle Nachkontrollen infolge von Einsprüchen der Antragsteller oder zur Plausibilisierung bestehender Unklarheiten noch vor Abschluss der Ernte im laufenden Jahr abgeschlossen werden.

Alle mit erheblichen Abweichungen beanstandeten Anträge sind durch die Kontrollbehörden nachzukontrollieren. Die Parzellen, die zu einer der vorgenannten Einstufungen geführt haben, sind vor Ort zu überprüfen. In den Fällen, in denen der Antragsteller sich mit den Ergebnissen der Fernerkundung schriftlich einverstanden erklärt, ist eine Nachmessung der beanstandeten Parzelle nicht erforderlich. Bei allen mit geringfügigen Abweichungen beanstandeten Anträgen sind die Antragssteller im Rahmen eines Anhörungsverfahrens über die Kontrollergebnisse zu informieren. Bei Zustimmung ist keine weitere Kontrolle vor Ort erforderlich.

9 Ausblick

Parallel zu der Verfahrensentwicklung im GIS-Bereich bei der EFTAS GmbH gab es zeitversetzt um einige Jahre auch in der Verwaltung einen zunehmenden Einsatz dieser Technologie. In anderen Bundesländern wird teilweise die Fernerkundungskontrolle durch die Verwaltung erprobt. Für die FEDienstleister wird der Aufgabenbereich neben der reinen FEK um die Kontrolle der Feldblockreferenzen sowie um zusätzliche Kontrolltätigkeiten im Bereich Cross Compliance erweitert.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich im Namen der Firma EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH und des Ministeriums für Landwirtschaft und Umwelt des Landes Mecklenburg-Vorpommern bei der Ge-

meinsamen Forschungsstelle der Europäischen Union für die Bereitstellung der Satellitenbilddaten und für die gute Zusammenarbeit.

Copyrights

IKONOS: "Distributed by European Space Imaging, EUSI. 2007"

IRS: "Original data provided by EURO-MAP GmbH, © Antrix 2006"

SPOT: "Distributed by SPOT-Image, © CNES 2007"

Literatur

RELIN, A., KRAUSE, A. & ZEUG, G., 2003: IACS GIS 2005: Demands and Solutions. – EFITA 2003 Conference, Debrecen, Ungarn.

VO (EG) 1593/2000: Zur Änderung der Verordnung (EWG) 3508/92 zur Einführung eines integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystems für bestimmte gemeinschaftliche Beihilferegelungen.

VO (EU) 1782/2003: Mit gemeinsamen Regeln für Direktzahlungen im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik und mit bestimmten Stützungsregelungen für Inhaber landwirtschaftlicher Betriebe.

VO (EU) 796/2004: Durchführungsbestimmungen zur Einhaltung anderweitiger Verpflichtungen, zur Modulation und zum Integrierten Verwaltungs- und Kontrollsystem nach der Verordnung (EU) 1782/2003 des Rates mit gemeinsamen Regeln für Direktzahlungen im Rahmen der Gemeinsamen Agrarpolitik und mit bestimmten Stützungsregelungen für Inhaber landwirtschaftlicher Betriebe.

Anschriften der Autoren:

Dr. CORDT BÜKER, EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH, Oststr. 2-18, D-48145 Münster, Tel. +49-251-1330735, Fax: +49-251-1330733, e-mail: Cordt.Bueker@eftas.com

PETER DITZ, Referat 33 (EU-Zahlungen), Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt- und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern, Paulshöher Weg 1, 19061 Schwerin, Tel. +49-385-588-6330, Fax: +49-385-588-6024, e-mail: P.Ditz@lu.mv-regierung.de

Manuskript eingereicht: Mai 2008

Angenommen: Juni 2008

Siedlungswasserwirtschaftliche Management- und Planungsunterlagen erhalten mehr Sicherheit durch photogrammetrische Methoden

Ein Praxisbericht zur langjährigen Versiegelungskartierung bei zwei Wasserwirtschaftsverbänden in NRW

WOLFGANG VAUPEL, Essen & HEINER RÖBMAN, Münster

Keywords: Photogrammetry, paved surface areas, sewage engineering structures

Summary: *Photogrammetric Methods Make Water Management and Planning Documentation in Settled Areas More Reliable.* This article describes the photogrammetric data acquisition of the paved surface area for two major wastewater authorities in North Rhine-Westphalia, Germany. Within their areas, both are responsible for the planning and operation of all water management and sewage engineering structures. Photogrammetrically documented sealed areas set up a sound basis for essential quality controlled model calculations:

- efficiency of existing water management structures
- pre-emptive planning and
- the adequate dimensioning of the required sewage networks, sewage plants and storm water storage basins.

The present paper demonstrates that photogrammetry provides a solid planning and quality control method for the current and future water management. Finally, the article offers a look ahead at some future changes in data acquisition concepts.

Zusammenfassung: Dieser Beitrag beschreibt die photogrammetrische Ermittlung versiegelter Flächen bei zwei großen Wasserwirtschaftsverbänden in Nordrhein-Westfalen, die beide in ihrem Verbandsgebiet für die Planung und den Betrieb der wasserwirtschaftlichen Anlagen verantwortlich sind. Die versiegelten Flächen bilden die wesentlichen Eingangsdaten für eine Vielzahl von Modellberechnungen, die insbesondere zur Überprüfung der Leistungsfähigkeit wasserwirtschaftlicher Anlagen und zur Dimensionierung von neuen Kanalnetzen, Kläranlagen und Regenrückhaltebecken erforderlich sind. Die Prüfung und die Datenfortführung der versiegelten Flächen werden dargestellt, die einen aktuellen Versiegelungsdatenbestand mit hoher und homogener Qualität gewährleisten. Darüber hinaus werden bisherige Modifikationen des Workflows aufgrund des technischen Fortschritts in der Photogrammetrie erläutert und ein Ausblick auf künftige Änderungen im Erfassungskonzept gegeben.

1 Einführung

Die negativen Folgen der Flächenversiegelung rücken aus verschiedenen aktuellen Anlässen zunehmend in den Fokus des öffentlichen und auch privaten Interesses. So sind die Hochwasserbilder von überfluteten Straßen und voll gelaufenen Kellern an der Elbe im April 2006 noch immer präsent. Auch

wenn Hochwasser nicht originär durch Flächenversiegelung selbst verursacht wird, so werden die verheerenden Folgen doch durch die Versiegelung verstärkt. Als Maßnahme zum vorbeugenden Hochwasserschutz werden deshalb die Entsiegelung von Flächen und die stärkere Abkopplung befestigter Flächen von der Kanalisation mit Versickerung des Niederschlagswassers gefordert.

Einen besonderen Anreiz für Grundstückseigentümer zur Flächenentsiegelung und zum ökologischen Umgang mit Regenwasser schafft das Urteil des Oberverwaltungsgerichtes Münster Ende 2007 zur Berechnung der Abwassergebühren (Oberverwaltungsgericht NRW 2007). Danach sind die Gebühren für die Beseitigung des Regenwassers nach der Wassermenge zu berechnen, die in die öffentliche Abwasseranlage eingeleitet wird, also nach dem Umfang der abflussrelevanten bebauten und versiegelten Flächen.

Für die Planung und insbesondere die Dimensionierung von siedlungswasserwirtschaftlichen Anlagen wie Abwasserkanäle, Kläranlagen, Pumpwerke oder Regenrückhaltebecken ist ebenfalls die genaue Kenntnis der versiegelten Flächen erforderlich. Eine Über- und Unterschätzung des Anteils versiegelter Flächen im Einzugsgebiet eines Vorfluters wird bei der Planung zu einer Über- oder Unterdimensionierung der wasserwirtschaftlichen Anlagen führen, mit denen das Regenwasser behandelt wird. Dies bedeutet beispielhaft für die Bemessungspraxis von Regenbecken, dass unnötig hohe Behandlungsvolumina vorgehalten und nicht erforderliche Investitionen geleistet werden oder erforderliche wasserwirtschaftliche Kapazitäten an anderer Stelle nicht zur Verfügung stehen.

2 Emschergenossenschaft und Lippeverband

Die Emschergenossenschaft und der Lippeverband sind zwei der größten Wasserverbände in Deutschland. Die Emschergenossenschaft wurde 1899 und der Lippeverband 1926 gegründet; sie sind selbstverwaltete Körperschaften des öffentlichen Rechts und arbeiten unter dem Dach einer einheitlichen Unternehmensstruktur zusammen (Website Emschergenossenschaft/Lippeverband).

Beide Verbände werden durch ihre Mitglieder – Städte, Wirtschaft und Bergbau – getragen und finanziert; sie betreiben in den insgesamt 4150 km² großen Verbandsgebieten 62 Kläranlagen und 261 Pumpwerke aller Größen, ihnen obliegt die Unterhaltung von 756 km Schmutz- und Reinwasserläufen und ca. 1000 km Abwasserkanälen. Mit dem Ausklingen der Bergsenkungen in weiten Teilen des Emschergebietes entfällt der Zwang zur offenen Abwasserableitung. Seit Ende der 70er Jahre wurde daher mit dem Bau von Schmutzwasserkanälen parallel zu den vorhandenen Wasserläufen begonnen, die das Abwasser unterirdisch den Kläranlagen zuleiten. Anschließend wird eine naturnahe Umgestaltung des jeweiligen Vorfluters durchgeführt. Gleichzeitig laufen Maßnahmen zur Dämpfung der Niederschlagsabflüsse.



Abb. 1: Übersichtskarte der Verbandsgebiete.

Seit Ende der 90er Jahre sind der Umbau des Emschersystems und die Gestaltung des Neuen Emschertals zentrale Projekte der Emschergenossenschaft (Emschergenossenschaft 2006). Vier Großkläranlagen bewältigen seit 2001 die häuslichen und industriellen Abwässer der Emscherregion. Die Arbeitsschwerpunkte haben sich auf den Bau unterirdischer Abwasserkanäle entlang der Gewässer verlagert. Von insgesamt 400 km Abwasserkanälen sind inzwischen mit einem Aufwand von rund 1,2 Mrd. Euro etwa 200 km Abwasserkanäle einschließlich der dazugehörigen Regenwasserbehandlungsanlagen als Voraussetzung für die ökologische Verbesserung der Gewässer fertig gestellt.

3 Ermittlung versiegelter Flächen

In Anbetracht der hohen Investitionen für die wasserwirtschaftlichen Anlagen in Milliardenhöhe allein bei der Emschergenossenschaft sind intensive Untersuchungen zur Ermittlung der für die wasserwirtschaftlichen Berechnungen relevanten Parameter unternommen worden. Ein wesentlicher Parameter ist die Größe der versiegelten, d. h. abflussrelevanten Flächen. Ziel war es, eine abgesicherte, aktuelle und fortschreibungsfähige Datengrundlage unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit zu erhalten.

Für die Ermittlung versiegelter Flächen standen vor Beginn der Luftbilddauswertung vier Methoden zur Ermittlung der abflusswirksamen Flächen zur Diskussion:

- Terrestrische Geländeaufnahme
- Auswertung von Musterflächen und Anwendung der Ergebnisse auf vollständige Einzugsgebiete
- Luftbildvermessung
- Satellitenbilddauswertung

Vergleichende Untersuchungen zeigen, dass der Einsatz der Stereo-Luftbildmessung eine Optimierung zwischen Genauigkeit, Aktualität und Wirtschaftlichkeit ermöglicht. Die terrestrische Aufnahme der versiegelten Flächen ist zwar das genaueste Verfahren, aufgrund langer Messzeiten und hohen Personaleinsatzes aber für die beiden

Verbandsgebiete zu langwierig und zu teuer. Eine Musterflächenauswertung auf der Grundlage der Deutschen Grundkarte 1:5.000 (DGK5) bringt zu große Unsicherheiten aufgrund der subjektiven Schätzung der abflusswirksamen Flächen und erfordert zudem einen zusätzlichen Digitalisierungsaufwand. Bilddaten der Landsat- und Spot-Satelliten waren beim Projektstart 1992 mit einer räumlichen Auflösung von 10 m bis 30 m (vgl. ALBERTZ 2007) zu grob aufgelöst und standen zudem nicht aktuell für die Betrachtungsgebiete zur Verfügung. Die heute verfügbaren hochauflösenden Fernerkundungsdaten (z. B. IKONOS-2, QuickBird-2 oder OrbView-3) bieten zwar mit einer Ground Sample Distance von ≤ 1 m eine deutlich verbesserte Auflösung. Diese ist jedoch nicht hoch genug, um die Anforderungen zu erfüllen, die an die Qualität der Auswertergebnisse gestellt werden. Insbesondere kann keine objektscharfe Bilanzierung der Versiegelung gewährleistet werden, die für eine konkrete Ermittlung der Versickerungs- und Abkoppelungspotenziale von der Kanalisation erforderlich ist.

Als wesentliches Ergebnis wurde festgelegt, dass die Erfassung der versiegelten Flächen eine Detailgenauigkeit gewährleisten soll, die etwa dem Kartenmaßstab 1:5.000 entspricht und der Vorgabe, dass die Flächenabweichungen bei Einzugsgebieten > 1 ha in der Summe unter $\pm 4\%$ liegen.

Emschergenossenschaft und Lippeverband haben 1992 damit begonnen, das Einzugsgebiet der Emscher und die Siedlungsbereiche im Lippeverbandsgebiet flächendeckend mit einer Reihenmesskammer im Bildmaßstab 1:8.000 bis 1:10.000 vor Belaubung zu befliegen und die versiegelten Flächen mit Hilfe photogrammetrischer Stereoauswertung zu ermitteln. Die erreichbare Lagegenauigkeit für gemessene Stützpunkte der Versiegelungsflächen ergibt sich aus dem gewählten Bildmaßstab und kann mit etwa ± 10 –20 cm angegeben werden (entspricht einer Messgenauigkeit im Bild von etwa ± 10 –20 μm).

3.1 Methodik

Die Bildflüge werden flächendeckend für Stadt- oder Gemeindegebiete durchgeführt, soweit diese im Verbandsgebiet liegen. Eingesetzt werden vorzugsweise Messkammern mit Normalwinkelobjektiv, um den sogenannten Umklappeffekt an den Rändern der Luftbilder gering zu halten und eine vollständige Auswertung auch in unmittelbarer Nachbarschaft von Gebäuden gewährleisten zu können. Um die Interpretation der Versiegelungsflächen zu erleichtern, wird grundsätzlich Farbbildmaterial verwendet. Die Luftbilder werden im Anschluss an den Bildflug im Rahmen einer Aerotriangulation auf der Grundlage topographischer Passpunkte mit einer Lagegenauigkeit von besser als $\pm 0,50$ m orientiert. Anfang der 90er Jahre wurden häufig Kartenpunkte aus topographischen Karten verwendet, die eine deutlich geringere Lagegenauigkeit aufwiesen. Die photogrammetrische Erfassung der versiegelten Flächen erfolgt an analytischen, zunehmend digitalen 3-D-Auswertestationen. Es werden die bebauten Gebiete einschließlich der Einzelgehöfte und Straßen erfasst. Die Flächen werden entsprechend der Auswerteanweisung (Lippeverband/

Emschergerossenschaft) nach folgenden Nutzungsarten differenziert:

- Dachflächen: Wohn-, Verwaltungs- und Nebengebäude
- öffentliche Verkehrsflächen: Straßen (öffentliche Straße aufgrund der Bedeutung, keine Recherche über Widmung)
- private Flächen „sauber“: Zuwegungen an und zu Gebäuden (keine Wege hinter Häusern oder in Gärten)
- private Flächen „schmutzig“: Garagenzufahrten und befahrbare Wege auf Privatgrundstücken.

Diese differenzierte Auswertung hat sich bei der Dokumentation des möglichen Versickerungs- und Abkopplungspotenzials von Versiegelungsflächen bestens bewährt. Vor dem Hintergrund, den Umbau des Emschersystems zu nutzen, um eine ökologische Regenwasserbewirtschaftung einzusetzen, ist diese differenzierte Auswertung auch weiterhin erforderlich.

Die versiegelten Flächen werden bei der photogrammetrischen Auswertung den vier Objektkategorien zugeordnet. Ist aus dem Luftbild nicht zweifelsfrei zu erkennen, ob Flächen versiegelt sind, werden diese gekennzeichnet und im Rahmen einer Ortsbegehung (Feldvergleich) verifiziert. Dies ist



Objektschlüssel EG/LV Befestigte Flächen

- Dachfläche
- Strasse, Fahrweg, Gehweg an Straße
- private Verkehrsfläche (sauber)
- private Verkehrsfläche (schmutzig)

Abb. 2: Photogrammetrisch erfasste Versiegelungsflächen.

insbesondere bei Parkplatzflächen der Fall, da hier oftmals im Bildmaterial nicht erkennbar ist, ob die Fläche asphaltiert (versiegelt) oder geschottert (wasserdurchlässig) ist. Erfahrungsgemäß müssen im Mittel etwa 1 % der fortzuführenden Versiegelungsflächen feldverglichen werden. Die Datenerhaltung erfolgt in einer Geodatenbank (ESRI ArcSDE); damit stehen die Daten als „GIS-Layer“ – „Versiegelte Flächen“ – unternehmensweit für spezifische Anwendungen zur Verfügung.

3.2 Qualitätsprüfungen

Die Qualitätsprüfung der Versiegelungsdaten erfolgt durch visuellen Vergleich mit den Luftbildern. In den ersten Jahren nach Projektstart wurden hierfür Color-Kontaktabzüge der Luftbilder mit Kontrollplots der Versiegelungsflächen im Maßstab 1:5.000 verglichen. Bei der Prüfung galt das besondere Augenmerk den großen Flächen der Kategorien „privat sauber“ und „privat schmutzig“. Diese sind überwiegend Parkplatzflächen oder Flächen in Industrie- und Gewerbegebieten, die auf Grund ihrer Größe spätere Flächenbilanzen nachhaltig verfälschen können, wenn Fehlzuordnungen vorliegen oder Flächen nicht erfasst wurden.

Zur Überprüfung der tatsächlich erreichten Genauigkeit wurden stichprobenartig kleinere Gebiete terrestrisch mit hoher Präzision aufgemessen und die Ergebnisse mit denen der photogrammetrischen Auswertung verglichen. Die Ergebnisse dieser Vergleiche bestätigten, dass die Abweichungen der photogrammetrisch erfassten Versiegelungsflächen prinzipiell unter dem geforderten Schwellenwert von 4 % liegen. Es zeigte sich weiter, dass die Genauigkeit im Einzelfall wesentlich von der Güte des Bildmaterials abhängt und von dem gewählten Bildmaßstab sowie von den kognitiven Erfahrungen der Photogrammetrie-Operateure mit der Flächenerfassung und -zuordnung. Um die festgelegten Qualitätsparameter sicher zu erreichen, ist bei filmbasierten Reihenmesskammern der Bildmaßstab 1:8.000 als Standardmaßstab für die Versiegelungskartierung festgelegt worden.

4 Datennutzung

Im Rahmen von wasserwirtschaftlichen Berechnungen werden die Auswertedaten mit Polygonen von Kläranlageneinzugsgebieten, Teileinzugsgebieten oder Kanalhaltungsflächen verschnitten und bilanziert, d. h. es wird der Anteil der versiegelten Flächen für die jeweilige Bilanzierungsfläche ermittelt. Diese Daten bilden u. a. die Eingangsdaten für Niederschlags-Abfluss-Simulationen, die eingesetzt werden, um Hochwasserschutzkonzepte zu erstellen, Eingangsdaten für die Gewässerdimensionierung zu ermitteln, die Wirkung abflussreduzierender Maßnahmen abzuschätzen oder die Grundwasserneubildung zu ermitteln. Für die hydrodynamische Kanalnetz-berechnung, d. h. die Ermittlung der Leistungsfähigkeit bestehender Kanalnetze sowie zur Dimensionierung neuer Kanalnetze werden die Daten der versiegelten Flächen ebenfalls genutzt. Schließlich ermöglichen die Versiegelungsdaten so genannte Schmutzfrachtberechnungen, mit denen die Menge und der Grad der Verschmutzung des Abflusses in Kanalisationsnetze in seiner Größe und im zeitlichen Verlauf modelliert werden. Sie werden für die Bemessung von Anlagen für den Gewässerschutz eingesetzt.

5 Anpassungen des photogrammetrischen Workflows

Seit etwa Ende der 90er Jahre haben sich auf Grund des technischen Fortschritts im Bereich der Photogrammetrie Veränderungen im Workflow ergeben. Die klassischen analogen Luftbilder werden durch digitale Bilder ersetzt, sei es durch hochauflösende Digitalisierung der analogen Aufnahmen mit Hilfe eines photogrammetrischen Scanners oder seit einigen Jahren auch durch den Einsatz digitaler Luftbildkameras. Damit entfallen die früher üblichen Kontaktabzüge. Die Luftbilddigitalisierung gestattet, dass digitale Orthophotos in einem engen zeitlichen Rahmen erstellt werden können. Durch die weitgehend automatisierte Bearbeitung kann der Herstellungsprozess kostengünstig gestaltet werden, so dass Ortho-

photos nunmehr zum Standardlieferungsumfang der Bildflugergebnisse gehören. Hierzu gehören ebenfalls die Orientierungsparameter der Luftbilder, die im Rahmen einer digitalen Aerotriangulation gewonnen werden.

Die Datenprüfung erfolgt heute mit Hilfe der digitalen Orthophotos. Die Versiegelungsdaten werden im GIS zusammen mit den Orthophotos präsentiert; das Auswertergebnis kann so auf einfache Weise auf Vollständigkeit und Richtigkeit (Zuordnung zu den Kategorien) geprüft werden. Zuordnungsfehler werden korrigiert und Datenlücken geschlossen, soweit die Orthophotos eine adäquate Genauigkeit für eine 2-D-Digitalisierung aufweisen. Fehler, die nicht anhand der Orthophotos bereinigt werden können, werden im Datensatz gekennzeichnet und an den photogrammetrischen 3-D-Auswertestationen behoben. Diese detaillierte Datenprüfung gewährleistet einen Ver-

siegelungsdatenbestand mit hoher und homogener Qualität.

Abb. 3 zeigt ein Wohngebäude mit Garage (grün gekennzeichnet), das bei der photogrammetrischen Fortführung (versehentlich) nicht erfasst wurde. Die Kartierarbeit zur Schließung der Datenlücke muss in diesem Fall an einer 3-D-Auswertestation erfolgen, da Dachflächen aufgrund des Umklappeffektes nicht präzise in Orthophotos digitalisiert werden können. In dem blau gekennzeichneten Bereich ist eine Garagenreihe erkennbar, die als private Verkehrsfläche digitalisiert worden ist. Dieser Fehler lässt sich einfach durch Umkodierung der Flächen in dem Versiegelungsdatensatz bereinigen.

6 Kooperationen

Der steigende Bedarf an aktuellen und kostengünstigen Luftbildern hat dazu geführt,

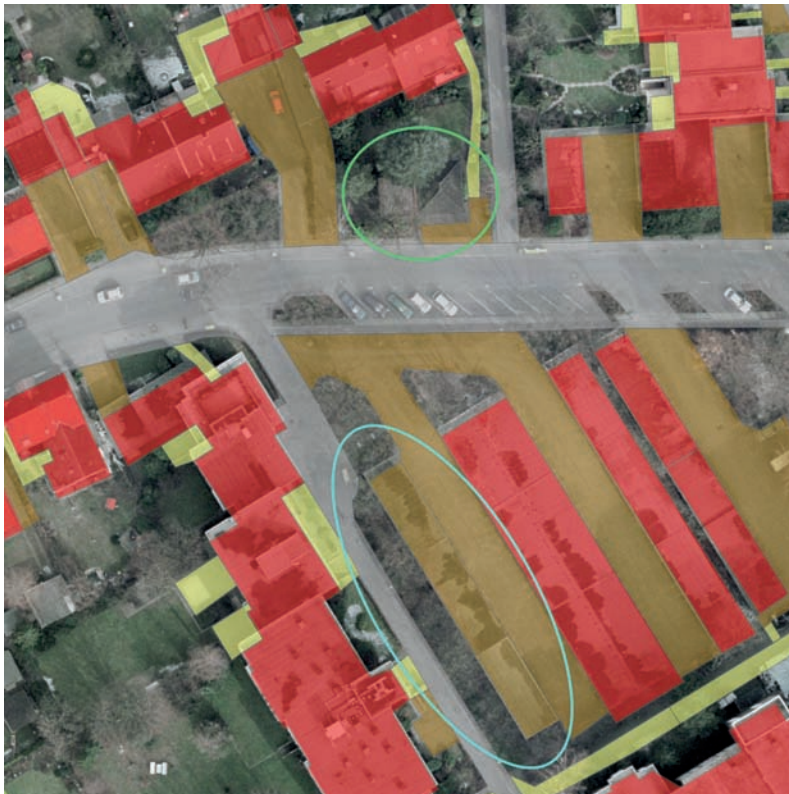


Abb. 3: Datenlücken und fehlerhafte Flächenzuordnung.

dass Befliegungen und Folgearbeiten häufig in Kooperation mit den Städten und Gemeinden oder mit weiteren Interessenten durchgeführt werden. Die unterschiedlichen Anforderungen der Kooperationspartner hinsichtlich der Nutzung des Bildmaterials und damit verbunden der Genauigkeit und Auflösung des Bildmaterials bedingen unterschiedliche Bildflugmaßstäbe. Eine Befliegung im Maßstab 1:5.000, die oft von Kommunen für ihre Verwaltungsaufgaben gewünscht wird, verursacht höhere Kosten als ein Bildflug im Maßstab 1:8.000, der sich als idealer Maßstab für die Versiegelungskartierung herausgestellt hat. Der Partner mit den höchsten Genauigkeitsforderungen bestimmt bei Kooperationsprojekten die Bildflugparameter sowie die Anzahl und Genauigkeit der zu signalisierenden und gegebenenfalls neu zu koordinierenden Passpunkte. Dabei gehen die erforderlichen Mehraufwendungen zu dessen Lasten; dies können zum Beispiel zusätzliche Passpunkte sein, die wegen der Einhaltung bestimmter Genauigkeitsgrenzen erforderlich sind. Die weitere Kostenverteilung erfolgt in Abhängigkeit vom Umfang der gewünschten Arbeiten sowie den Qualitäts- und Genauigkeitsanforderungen. Durch eine Kooperation ergibt sich für jeden Partner eine Kosteneinsparung gegenüber der Einzelbeauftragung. Die gemeinsame Nutzung von Befliegungsergebnissen führt auch dazu, dass sich die Befliegungsbereiche an den Stadt- oder Gemeindegrenzen orientieren.

7 Datenfortführung

Um die Aktualität der Daten zu gewährleisten wurde nach der Ersterfassung Ende der neunziger Jahre mit der Fortführung begonnen. Die bisherigen Erfahrungen zeigen, dass bei der erstmaligen Fortführung nach einem Zeitraum > 5 Jahren eine komplette photogrammetrische Durchmusterung erforderlich ist, da eine große Zahl punktueller Veränderungen – Rückbau von Straßen, Baulückenschließung, innerstädtische Umbaumaßnahmen – vorliegen. Zudem werden die städtischen Randlagen und im ländlichen Raum die Einzelgehöfte nunmehr mit

erfasst. Des Weiteren erfolgt hier eine lückenlose Auswertung der Straßenflächen.

Die Ergebnisse der Aerotriangulation auf Grundlage präziser Passpunkte ermöglichen eine genauere Bildorientierung, so dass im Zuge der Fortführung Lagengenauigkeiten, die in der damaligen Einzelmodellorientierung auf Basis der DGK5 begründet waren, entweder durch Transformation der Altdaten oder im Zuge gebietsweiser Neuauswertung bereinigt werden.

8 Kostenentwicklung

Die Gesamtkosten für die Bereitstellung der digitalen Versiegelungsdaten setzen sich im Wesentlichen aus den Kosten für Befliegung, Bildorientierung, photogrammetrische Auswertung und Qualitätskontrolle zusammen. Bei der Erstauswertung entfielen etwa 1–2% auf den Bildflug und etwa 80–90% auf die Versiegelungsauswertung, die übrigen Kosten sind Allgemerkosten oder werden für Qualitätskontrollen aufgewendet. Diese Kostenrelation hat sich für die Fortführungsarbeiten nur unwesentlich verändert. Die Kosten für Bildflug, Aerotriangulation einschließlich ergänzender Passpunktbestimmung sowie Orthophotoerstellung sind im Mittel nur marginal gestiegen, obwohl die Orthophotoerstellung als zusätzliche Leistung hinzugekommen ist. Die Kosten für die erste Datenfortführung, die im Mittel etwa 10 Jahre nach Ersterfassung erfolgt, betragen etwa 65% der Erstauswertung.

Bei der zweiten Fortführung reduzieren sich die Gesamtkosten im Mittel auf 50%. Die Kostenreduktion ergibt sich aus einer geringeren Zahl von Fortführungsfällen, da zwischen erster und zweiter Fortführung nur etwa 5 Jahre liegen. Die Auswertungskosten bilden mit ca. 80% unverändert den größten Kostenblock.

9 Schluss und Ausblick

Die Ergebnisse der Luftbildauswertung zeigen im Vergleich für das Emschergebiet eine deutliche Überschätzung des Anteils der versiegelten Flächen nach den bis dahin durchgeführten Ermittlungen. Dieses Er-

gebnis war und ist für die Bemessung aller wasserwirtschaftlichen Bauwerke von herausragender Bedeutung, da die versiegelten Flächenanteile in entscheidendem Maße den Anteil des Regenabflusses bestimmen, der der Kanalisation und den Regenbecken zugeleitet wird. Die Ermittlung der versiegelten Flächen aus Luftbildern nach der hier beschriebenen Vorgehensweise hat sich bewährt und wurde lediglich den technischen Entwicklungen in der Photogrammetrie angepasst. Mehrfachnutzung des Bildmaterials im Unternehmen, Kooperationen mit Partnern und Effizienzsteigerungen im photogrammetrischen Prozess führen zu einer deutlichen Kostenreduzierung.

Ausgelöst durch die starke Nachfrage aktueller hochauflösender Luftbilder und Orthophotos (Bodenauflösung $\leq 0,1$ m) durch die kommunalen Kooperationspartner wird für die künftige Datenfortführung diskutiert, den Aktualisierungszyklus von fünf auf drei Jahre zu reduzieren. Da eine geringere Anzahl von Fortführungen unterstellt werden kann und eine jeweils vollständige photogrammetrische Durchmusterung des Bearbeitungsgebietes unter stereoskopischer Betrachtung vergleichsweise aufwändig ist, wird derzeit untersucht, ob die Fortführungsfälle nicht kostengünstiger vorab anhand von Orthophotos oder mit Hilfe anderer Informationsquellen festgestellt werden können. Für ausgewählte Bereiche wird z. Zt. die Art der Veränderung ermittelt sowie deren Häufigkeit und räumliche Verteilung (Einzelobjekte oder geschlossene Bereiche wie z. B. Neubaugebiete), um eine fundierte Entscheidungsgrundlage zu erhalten, inwieweit eine Aktualisierung mit vollständiger Gebietsdurchmusterung notwendig ist oder ob gegebenenfalls eine punktuelle Aktualisierung von Fällen mit großen Flächenänderungen (evtl. beschränkt auf einen Fortführungszyklus) ausreichend ist. Außerdem sollen Methoden der „Change Detection“ für dieses Projekt auf Praxistauglichkeit geprüft werden und die Ergebnisse bezüglich Qualität und Wirtschaftlichkeit evaluiert werden.

Es bleibt abzuwarten, ob der Befliegungs- und Aktualisierungsturnus von drei Jahren

auf Dauer realisiert werden kann, da hierfür entsprechende Bildflugkapazitäten am Markt verfügbar sein müssen. Gerade die meteorologischen Bedingungen des Frühjahrs 2008, die nur wenige Stunden Bildflug zugelassen haben, zeigen die nicht beeinflussbaren Grenzen und Abhängigkeiten für Vorbelaubungsflüge auf. Trotz moderner Technologie wird es bei den gut 10 optimalen Bildflugtagen pro Jahr bleiben.

Literatur

- ALBERTZ, J., 2007: Einführung in die Fernerkundung – Grundlagen der Interpretation von Luft- und Satellitenbildern. – Wissenschaftliche Buchgesellschaft, Darmstadt: 243–245.
- Emschergenossenschaft, 2006: Masterplan Emscher-Zukunft. – www.emscherumbau.de/de/zukunft_der_emscher/masterplan/index.php (Mai 2007).
- GEIGER, W. & DREISEITL, H., 1995: Neue Wege für das Regenwasser – Handbuch zum Rückhalt und zur Versickerung von Regenwasser in Baugebieten. – Emschergenossenschaft, Essen und Internationale Bauausstellung Emscher Park GmbH, Gelsenkirchen. – Oldenbourg Verlag, München, Wien.
- Lippeverband/Emschergenossenschaft: Anweisung für die photogrammetrische Erfassung und Fortführung versiegelter Flächen. – nicht veröffentlicht.
- Oberverwaltungsgericht NRW, 2007: Urteil vom 18.12.2007, Aktenzeichen: 9 A 3648/04. – www.justiz.nrw.de/nrwe/ovgs/ovg_nrw/j2007/9_A_3648_04urteil20071218.html (Mai 2007).
- Website Emschergenossenschaft/Lippeverband – www.portal-eglv.de (Mai 2007).

Anschriften der Autoren:

Dipl.-Ing. WOLFGANG VAUPEL, Emschergenossenschaft/Lippeverband, D-45128 Essen, Tel.: +49-201-104-2325, Fax: +49-201-104-2210, e-mail: Vaupel.Wolfgang@eglv.de

Dipl.-Ing. HEINER RÖßMANN, EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH, D-48145 Münster, Tel.: +49-251-13070, Fax: +49-251-130733, e-mail: Heiner.Roessmann@eftas.com

Manuskript eingereicht: Mai 2008
Angenommen: Juni 2008

Semiautomatische Luftbilddauswertung zur Erfassung von Siedlungs- und Verkehrsflächen als Unterstützung des nachhaltigen Flächenmanagements

ADRIAN KLINK, CLAUDIA LÜCKE & ANDREAS VÖLKER, Münster; SILKE HÖKE & MARKUS ROLF, Osnabrück

Keywords: REFINA, automatic image analysis, vector-based pattern matching, sustainable land management

Summary: *Semi-automatic Analysis of Aerial Photos for the Detection of Settlement and Traffic Areas for a Sustainable Land Management.* This paper deals with the semi-automatic analysis of aerial photos in urban areas. Germany is planning to decrease daily land consumption to 30 ha per day by the year 2020. To achieve this objective a qualitative sustainable land management planning is necessary incorporating urban, social, economical and ecological aspects. Based on existing data of the city of Osnabrück land cover information shall be derived in timely and cost-effective manner for urban and regional planning that can be incorporated into the existing planning methods. For this an area-wide object-based urban classification is performed in two steps. It is supported by vector-based extraction and smoothing methods. Firstly the initial segmentation is supported by an algorithm for the detection of hipped roofs. Afterwards classified object geometries are being improved through smoothing methods. In the second step all object classes are being classified and smoothed again using automatic real estate map data (ALK). The aim is to reduce manual postprocessing efforts.

Zusammenfassung: Dieser Beitrag befasst sich mit der semiautomatischen Luftbilddauswertung von urbanen Räumen. Im Zuge der Zielsetzung der Bundesregierung, die Flächeninanspruchnahme in Deutschland auf 30 ha pro Tag zu senken, bedarf es eines nachhaltigen qualitativen Flächenmanagements in der Regional- und Raumplanung unter städtebaulichen, sozialen, wirtschaftlichen und ökologischen Kriterien. Basierend auf den bereits vorliegenden Datenbeständen der Stadt Osnabrück sollen zeitnah und kostengünstig Flächeninformationen abgeleitet werden, die in die Siedlungs- und Regionalplanung eingebunden werden können. Die flächendeckende objektbasierte Klassifikation städtischer Flächennutzungen erfolgt zweistufig und wird mit vektorbasierten Extraktions- und Glättungsverfahren ergänzt. Anhand einer Walmdacherkennung wird der Segmentierungsprozess unterstützt, während eine der Klassifikation nachgelagerte Gebäudekantenglättung die Ergebnisgeometrien der Bauungsklassen verbessert. Die bereinigten Geometrien werden als Grundlage für die gesamte Klassifizierung herangezogen, deren Ergebnis anschließend mit Hilfe des ALK geglättet wird. Ziel ist es, den Zeitaufwand für die manuelle Nachbearbeitung weitestgehend zu reduzieren.

1 Einleitung bzw. Einführung

Im Jahr 2000 entstanden trotz stagnierender Bevölkerungszahl täglich 129 ha (ca. 150 Fußballfelder) neue Siedlungs- und Verkehrsflächen in Deutschland. Dabei wurden vorwiegend Ackerflächen und Forstflächen durch Baumaßnahmen auf der „Grünen Wiese“ am Stadtrand beziehungsweise im

ländlichen Raum umgewidmet. Nach einem konjunkturbedingten Rückgang im Jahr 2002 auf 105 ha pro Tag (Bundesregierung 2004) ist 2005 die tägliche Ausdehnung wieder auf 118 ha angestiegen (Statistisches Bundesamt 2008).

Die Zunahme von Siedlungs- und Verkehrsflächen führt zu einem Verlust von natürlichen und landwirtschaftlichen Böden,

zu einer Zerschneidung von Landschaftsräumen, zur Veränderung der Lebensräume und damit zu einer Bedrohung der bestehenden Flora und Fauna. Gleichzeitig kommt es zu einer Beeinträchtigung der Erholungsmöglichkeiten des Menschen.

Um dieser Flächeninanspruchnahme entgegen zu wirken, legte die Bundesregierung auf Empfehlung des Rates für Nachhaltigkeit 2004 das Ziel fest, bis zum Jahr 2020 die Flächeninanspruchnahme auf 30 ha pro Tag zu reduzieren. Ein weiteres Ziel ist der Vorrang der Innenentwicklung vor der Außenentwicklung. Hierbei wird die Wiedernutzbarmachung von industriellen, militärischen und urbanen Brachflächen sowie das Schließen von Baulücken und das Ausnutzen anderer Nachverdichtungspotenziale angestrebt (Rat für Nachhaltigkeit 2004).

Um das 30-ha-Ziel zu erreichen, ist ein bewusster Umgang mit der Fläche und mit der endlichen Ressource Boden notwendig, wofür ein umfassender und aktueller Informationsbestand benötigt wird. Hierzu kann die Auswertung von Luftbildern wichtige Informationen liefern. Mit Luftbildern liegen aktuelle flächendeckende Daten vor, die entsprechend aufbereitet, unter anderem den Aufbau von Brachflächen- und Baulandpotentialkatastern sowie das Flächenmonitoring unterstützen.

Mittels historischer Luftbilder können ehemalige Nutzungen erfasst werden. Diese geben nicht nur Hinweise zur Altlastenerkennung, sondern sollen zukünftig auch Ableitungen zur Bewertung des Bodens in seinen natürlichen Funktionen ermöglichen. Diese Informationen sind integraler Bestandteil eines qualitativen Flächenmanagements (vgl. Abschnitt 2).

Die bisherige manuelle Erfassung der Nutzungen anhand der Luftbilder ist sehr zeitaufwendig und damit auch kostenintensiv. Um die Bearbeitungszeit zu reduzieren, werden im Rahmen des Förderschwerpunktes REFINA¹ automatische Verfahren zur Auswertung von Luftbildern im Siedlungs-

raum von der Firma EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH entwickelt und evaluiert. Gleichzeitig wird auch die Übertragbarkeit des Auswertungsverfahrens auf verschiedenen Bildmaterialien überprüft.

2 Nachhaltigkeit im Flächenmanagement und in der Siedlungsplanung

Im Rahmen des 30-ha-Zieles nimmt das nachhaltige ‚qualitative Flächenmanagement‘ eine Schlüsselstellung ein. Kernstück dieses informellen städtebaulichen Instruments ist es, Nachverdichtungspotenziale innerhalb bestehender Siedlungsstrukturen zu erkennen und zu nutzen, um damit die Inanspruchnahme freier Flächen im Außenbereich zu verhindern. Doch nicht nur die mengenmäßige Nachverdichtung steht hier im Vordergrund, sondern auch qualitative Ansprüche sind zu bedienen, damit die Städte lebenswert und als Wohn- und Arbeitsort attraktiv bleiben (weiche Standortfaktoren). Dabei spielt die Wahl der Standorte, auf denen Vorhaben realisiert werden sollen, eine entscheidende Rolle. Die Steuerung und Optimierung nach städtebaulichen, sozialen, wirtschaftlichen und ökologischen Kriterien in Bezug auf Menge, Qualität und Lage steht im Zentrum des qualitativen Flächenmanagements (REIß-SCHMIDT 2002). Nicht jede Nachverdichtungsmaßnahme dient dem Ziel des qualitativen Flächenmanagements, denn durch extreme Versiegelungsanteile z. B. kann sich die nähere Umgebung im Sommer stark aufheizen, was mit negativen Folgen (z. B. gesundheitlicher Art) verbunden sein kann. Außerdem erhöhen sich Abflussspitzen in den regenreichen Monaten, was wiederum zu Überflutungen führen kann. In beiden Fällen spielen die Böden eine grundlegende Rolle als Regulatoren im städtischen Ökosystem (JEDICKE 2001). In diesem Zusammenhang sind nicht nur die natürlichen Böden zu nennen, sondern ebenfalls jene, die aus technogenen Substraten (Bauschutt, Aschen, Schlacken, etc.) bestehen: die *Stadtböden*. Sie sind Bestandteil vieler städtischer Nutzungsklassen

¹ Forschung für die Reduzierung der Flächeninanspruchnahme und ein nachhaltiges Flächenmanagement

wie Parks, Haus- und Kleingärten sowie Brachflächen und bestimmen maßgeblich deren Erscheinungsbild und Qualität. Auch Stadtböden nehmen die natürlichen Funktionen wahr, die es laut BBodSchG 1998 §2 Abs. 2 zu erhalten gilt:

- Lebensgrundlage und Lebensraum für Menschen, Tiere, Pflanzen und Bodenorganismen
- Bestandteil des Naturhaushaltes, insbesondere mit seinen Wasser- und Nährstoffkreisläufen
- Abbau-, Ausgleichs- und Aufbaumedium für stoffliche Einwirkungen aufgrund der Filter-, Puffer- und Stoffumwandlungseigenschaften, insbesondere auch zum Schutz des Grundwassers

Doch wie können diese Funktionen erfasst, bewertet und damit nutzbar gemacht werden? Wie kann der Aufwand ihrer Beschreibung verringert werden und welche Rolle spielen dabei Daten aus der Fernerkundung?

Dieser Frage gehen die Fachhochschule Osnabrück und die EFTAS in einem REFINA Forschungsprojekt nach. Ein zentrales Ziel ist es, den historischen Nutzungswandel mit Hilfe (halb-) automatischer Verfahren zu klassifizieren und diese Ergebnisse für die Funktionsbewertung urbaner Böden zu nutzen. Wichtige Informationen, wie z. B. standortbezogene Überprägungsgrade und -häufigkeiten, können erste Hinweise auf die Bodenbeschaffenheiten und damit deren Qualität geben. Dies soll schließlich den Untersuchungsaufwand im Gelände überschaubar halten. Auf diesem Weg können z. B. die naturnahen Böden abgegrenzt werden, deren Erhalt an oberster Stelle des kommunalen Bodenschutzes steht.

3 Verfahren der semiautomatischen Luftbildauswertung

Städtische Nutzungsklassen wie z. B. Brachflächen sind in ihrer Ausprägung in der Regel nicht homogen, sondern setzen sich aus Bereichen von spärlicher Vegetation, Hochstauden bis hin zu Gebüsch und Bäumen oder auch kleineren Asphaltflächen zusammen. Deshalb müssen bei der automatisierten Bildauswertung die einzelnen Komponenten als unterschiedliche Klassen erfasst und anschließend über deren Zusammensetzung die Nutzungen abgeleitet werden.

Entsprechend der von der Stadt Osnabrück und FH Osnabrück gewünschten Nutzungsklassen, wurden diese hinsichtlich ihrer Ausprägung analysiert. Die vorkommenden Komponenten werden als Objektklassen für die Klassifikation herangezogen und können in die zwei Hauptgruppen Nicht-Vegetation und Vegetation untergliedert werden (siehe Tab. 1).

3.1 Untersuchungsgebiet und Datengrundlage

Für die Forschungsarbeiten wurde ein 16 km² großes Untersuchungsgebiet entlang des Stichkanals in Osnabrück ausgewählt. Neben einem größeren Kasernenareal treten Wohngebiete, Gewerbe-, Brach- und Abauflächen, land- und forstwirtschaftliche Flächen sowie Freizeitanlagen auf. Für das komplette Untersuchungsgebiet liegen Luftbilder von 1935 bis 2005 vor (siehe Tab. 2). Dabei handelt es sich bis einschließlich 1984 um Schwarz-Weiß-Aufnahmen und anschließend um Echtfarben-Aufnahmen. Die Bilddaten von 2005 haben mit 15 cm pro Pixel die beste Auflösung. Gleichzeitig zur Luftbildbefliegung von 2005 wurden mittels Laserscanner-Befliegung ein Digitales Geländemodell (DGM) und ein Digitales Oberflächenmodell (DOM) mit einer Auflö-

Tab. 1: Objektklassen.

Hauptgruppe	Nicht-Vegetation	Vegetation
Objektklassen	Gebäude, Straße, Asphalt, Pflaster, Kies, Sand, Offener Boden, Wasser	Spärliche Vegetation, Grünland/-fläche, Hochstauden, Gebüsch, Baum/Wald, Acker

Tab. 2: Vorhandene Bilddaten.

Befliegungsjahr	Auflösung/Bildmaßstab	Art der Aufnahme
1935, 1956, 1963, 1972, 1984	42 cm Pixelauflösung	SW-Aufnahme
1986, 1989, 1991, 1997	30 cm Pixelauflösung	Echtfarben
2002	40 cm Pixelauflösung	Echtfarben
2005	15 cm Pixelauflösung, für die Klassifikation auf 30 cm reduziert	Echtfarben

sung von 1 m erzeugt. Zusätzlich zu den Bilddaten stehen die Automatisierte Liegenchaftskarte und historische Karten zur Verfügung.

Für die Entwicklung der automatischen Auswertung wurden die Bilddaten von 2005 verwendet. Um die Übertragbarkeit des Verfahrens zu testen, wurden die anderen Bilddaten herangezogen, wobei der Schwerpunkt der Analyse auf den Echtfarbenen Bildern lag. Zusätzlich wurde die Übertragbarkeit des Verfahrens auf ein weiteres 10 km² großes Gebiet im Stadtzentrum von Osnabrück überprüft.

3.2 Methodische Umsetzung

Das Ziel der Bildauswertung ist es, die Objektklassen und damit später auch die Nutzungen möglichst exakt abzugrenzen. Dazu wird für die automatische Umsetzung in erster Linie eine zweistufige, objektbasierte Klassifikation mit Definiens Developer 7 (ehemals eCognition) verwendet, die mit Funktionen aus MV Tec Halcon 7.1, Implementierungen in C++ und Prozessen in ESRI ArcInfo ergänzt wird (siehe Abb. 1).

Die Klassifikation mit Definiens Developer 7 erfolgt durch die Kombination von spektralen Informationen, Textur, Formparametern und Höheninformationen. Dabei wird im spektralen Bereich das IHS-Farbmodell verwendet. Aufgrund des Fehlens des nahen Infrarotkanals ist die Trennung von Vegetation und Nicht-Vegetation sehr schwierig. Um eine Trennung zu ermöglichen, wurde durch die Bildung von gewichteten Farbdifferenzen (zwischen einerseits grünem zu rotem sowie andererseits grünem

zu blauem Kanal) folgende Formel entwickelt:

$$VI_{3G2B1R} = \frac{3 \cdot \text{Grün} - 2 \cdot \text{Blau} - \text{Rot}}{3 \cdot \text{Grün} + 2 \cdot \text{Blau} + \text{Rot}} \quad (1)$$

Um die Übertragbarkeit auf andere Bilddaten zu verbessern, wurde verstärkt eine Klassifikation mit GLCM²-Texturmerkmalen (HARALICK et al. 1973) angestrebt. Einzelne Klassen wie z. B. die belaubten Baumkronen sind durch die Kombinationen verschiedener Texturmerkmale gut abzugrenzen. Straßen und Wege können durch gerichtete Texturmerkmale (TOMOWSKI et al. 2006) erfasst werden. Mittels Form- und Nachbarschaftsbeziehungen werden zum einen PKW und LKW, die entsprechend in ihren Umgebungsklassen (asphaltierte Fläche oder Straße) aufgelöst werden können, sowie kleine rechteckige Flachdachgebäude abgegrenzt.

Eine ausschließliche Erfassung der Gebäude mittels der Software Definiens Developer kann nur mit Hilfe von Höhendaten erfolgen. Dazu verwendet man das nDOM³, das die Differenz aus Digitalem Oberflächenmodell und Digitalem Geländemodell ist. Mit dem Ziel, eine Übertragbarkeit auf andere Bilddaten und damit andere Zeitschnitte zu erhalten, ist dies jedoch problematisch zu betrachten, da die Höhendaten nur für 2005 vorliegen, weshalb vor die Klassifikation mit Definiens Developer eine

² Grey Level Co-Occurrence Matrix, enthält Häufigkeiten des Aufeinandertreffens bestimmter Graustufen jeweils zweier benachbarter Pixel

³ Normalisiertes Digitales Oberflächenmodell

Gebäudeerkennung geschaltet wird. Diese bezieht sich momentan nur auf die Erkennung von Walmdächern (siehe Abschnitt 3.3).

Die geringere Auflösung des nDOM gegenüber den Bilddaten sowie Überlappungen mit Baumkronen und andere Störeinflüsse, wie z. B. Schatten, führen zu Ungenauigkeiten bei der Segmentierung und Klassifizierung der Gebäude. Selbst wenn ein Gebäude korrekt erkannt wurde, entsprechen die gefundenen, oft sehr unsauberen Gebäudeumrisse meist nicht den tatsächlichen Umrissen. Dies macht eine Gene-

ralisierung der klassifizierten Gebäude notwendig, um die Klassifikationsgüte zu verbessern und die manuelle Nachbearbeitung zu reduzieren. Eine der gewählten Möglichkeiten ist ein Abgleich des Gebäude-Layers mit den vorhandenen ALK-Gebäudedaten in ArcInfo. Da die ALK nicht immer aktuell ist, muss allerdings ein weiteres Verfahren, die Gebäudeglättung mittels eines MBR-Ansatzes nach DUTTER (2007; siehe Abschnitt 3.4), angewandt werden.

Anschließend werden die verbesserten Gebäudeumrisse in Definiens Developer importiert und für den Segmentierungsprozess

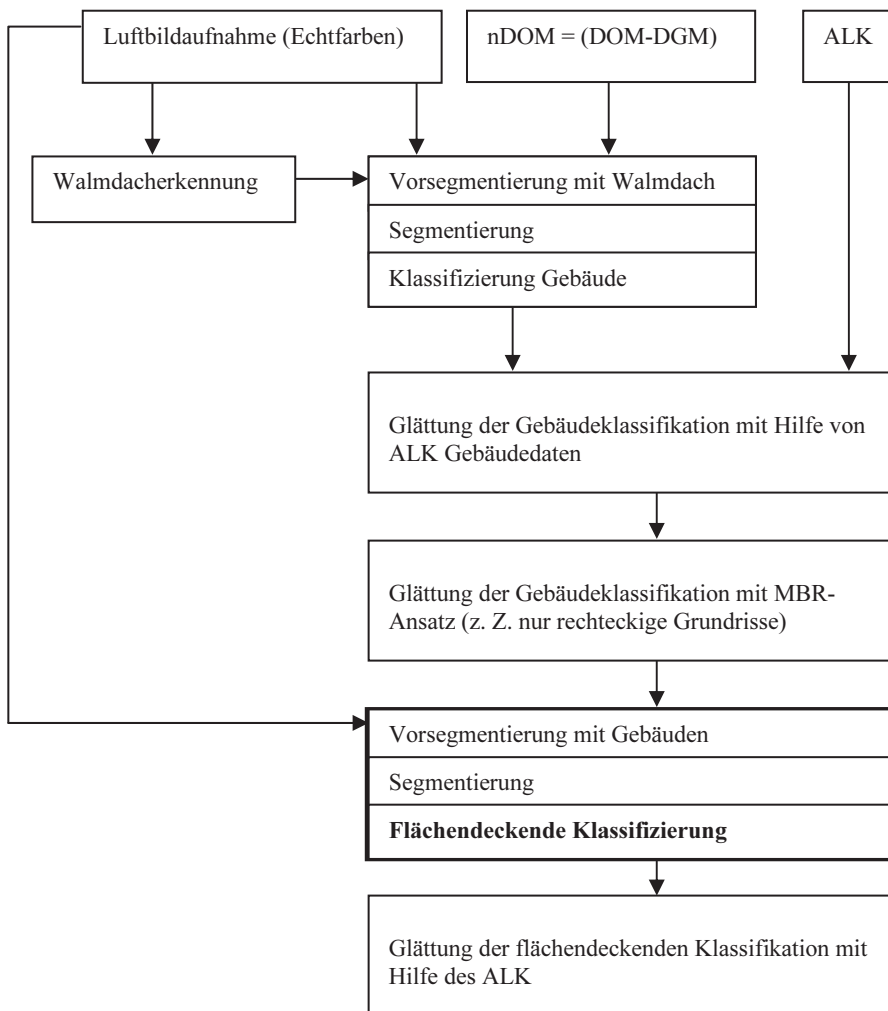


Abb. 1: Schema des Klassifikationsverfahrens.

der zweiten Klassifikation herangezogen. In diesem Durchgang werden alle in Tab. 1 genannten Objektklassen anhand ihrer spektralen und textuellen Eigenschaften erfasst. Über Nachbarschaftsbeziehungen werden erste Bereinigungen von Fehlklassifikationen durchgeführt. Die Ergebnisse werden exportiert und durchlaufen nochmals eine ArcInfo-Routine, bei der die Objektklassen Gebäude, Straße, Asphalt und Pflaster mit Hilfe der ALK geglättet werden.

3.3 Walmdacherkennung als Baustein zur Gebäudeerkennung

Das Prinzip der Walmdacherkennung basiert auf der einfachen Gegebenheit, dass in unseren Breitengraden aufgrund des Sonnenstandes die vier Seiten eines Walmdaches unterschiedlich beleuchtet werden. Dabei erscheinen die beiden sonnenzugewandten Seiten meist deutlich heller als die beiden sonnenabgewandten (siehe Abb. 2 bzw. Abb. 3). Dieser Helligkeitsunterschied lässt sich in einem Kantenbild als ein charakteristischer Z-förmiger Linienzug erkennen (siehe Abb. 2). Basierend auf diesem Ansatz werden in den folgenden Schritten die Außengrenzen des Walmdachs generiert. Im Falle eines parallelen oder senkrechten Lichteinfalls auf die Firstlinie ist dieser Ansatz möglicherweise nicht anwendbar, da sich dann andere charakteristische Linienzüge ergeben könnten. Dies konnte jedoch wegen fehlender Beispiele im Testgebiet nicht überprüft werden.

1. Schritt: Polygone erzeugen:

Zunächst werden in der Bildanalyse-Bibliothek MVTec Halcon 7.1 mit verschiedenen Operatoren (MVTec 2007) Polygone generiert: Zuerst wird mit dem so genannten Robinson-Operator ein Kantenbild erzeugt

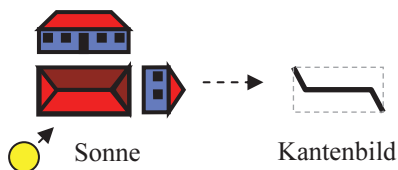


Abb. 2: Prinzip der Walmdacherkennung.

(siehe Abb. 4). Anschließend wird das Kantenbild mit einem Schwellwert-Operator binarisiert. Das Resultat enthält viele Störungen und oftmals sind die gesuchten Linien mehrere Pixel breit. Zur Bereinigung wird das binarisierte Kantenbild zunächst skelettiert, so dass nur Linien mit einer Breite von einem Pixel übrig bleiben. Anschließend werden durch die „Pruning“-Funktion kurze überstehende Äste, welche eine vorgegebene Mindestlänge unterschreiten, aus dem „Skelett“ entfernt (siehe Abb. 5). Mit Hilfe des Ramer-Algorithmus erzeugt man daraus geglättete Polygone. Um Rechenzeit und Speicherplatz für die anschließende Analyse zu sparen, werden nur diejenigen Polygone weiterverwendet, deren jeweiliger Radius des umschließenden Kreises eine definierte Mindestgröße aufweist. Eine Filterung über die Fläche (Kleinstpolygone) bzw. den Umfang wurden ebenfalls getestet, aber aufgrund der schlechten Ergebnisse nicht weiter verfolgt. Das Ergebnis wird letztlich als Arcgen-Datei gespeichert.

2. Schritt: Suchen nach charakteristischen Linienzügen für Walmdächer:

Ein im Rahmen des Projektes entwickeltes C++-Programm dient zum Laden und Weiterverarbeiten der im ersten Schritt erzeugten Polygone. Zur Verringerung von Störeinflüssen werden vor der Suche kurze, aufeinanderfolgende Linienstücke mit ähnlicher Ausrichtung zu einer Linie zusammengefasst. Nun werden die Stützpunkte eines jeden Polygons zyklisch durchlaufen und je drei auf einander folgende Linienstücke auf Erfüllung der Kriterien für die charakteristische Walm-Form geprüft (siehe Abb. 7): Die beiden sich ergebenden Winkel zwischen den drei Linienstücken müssen unter Berücksichtigung einer Toleranz entgegengesetzt zueinander sein und darüber hinaus generell innerhalb vorgegebener Werte liegen. Ebenso erfolgt eine Plausibilitätsüberprüfung der Linienstücke aufgrund ihrer Längen und ihrer Verhältnisse zueinander. Damit soll ausgeschlossen werden, dass über eine normale Verkippung hinaus abweichende Walm-linien oder andere zufällige Z-förmige Konstellationen gefunden werden.



Abb. 3: Original mit Walmdächern.



Abb. 4: Kantenbild.



Abb. 5: Skelett nach „Pruning“.

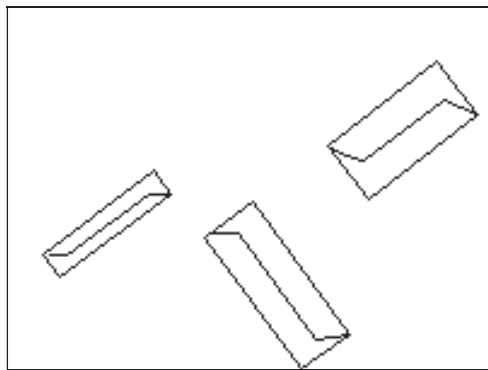


Abb. 6: Gefundene Gebäude.

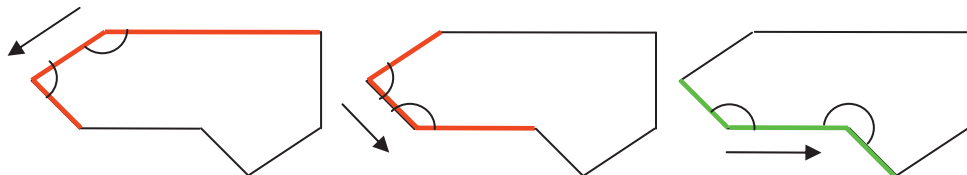


Abb. 7: Polygone nach charakteristischer Form durchsuchen.

3. Schritt: Berechnen eines Rechtecks für die Gebäudekontur:

Wenn ein charakteristischer Linienzug gefunden wurde, wird angenommen, dass es sich um ein Walmdach handelt. Aus dem vorhergehenden Schritt sind zunächst nur vier Koordinaten der Walm (siehe Abb. 8, rote Kreise), jedoch nicht die der Gebäudeecken, bekannt. Die beiden äußeren Stützpunkte können hierbei als Gebäudeecken angenommen werden. Nun gilt es aus den

vier gegebenen Koordinaten die verbleibenden zwei Gebäudeecken zu berechnen. Als Orientierung gilt zunächst die Mittellinie, welche durch die beiden mittleren Koordinaten der Walm gekennzeichnet ist. Der gesuchte Gebäudeumriss muss parallel zu dieser Mittellinie ausgerichtet sein. Nun wird für jeden der beiden äußeren Stützpunkte im rechten Winkel der Abstand zur Mittellinie errechnet. Die Summe der beiden errechneten Werte ist gleichzeitig der Abstand

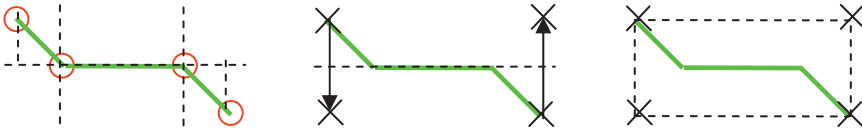


Abb. 8: Gebäudeumriss (Rechteck) berechnen.

zwischen jeweils einem bekannten und einem zu errechnenden Gebäudeeckpunkt (siehe Abb. 8, Pfeile). Da die Abstände rechtwinklig zur Mittellinie sind, lassen sich auf diese Weise die letzten beiden Gebäudeecken berechnen (siehe Abb. 8, als X markiert). Die erzeugten Walmdachumrisse werden als Vektor-Layer abgespeichert, in Definiens Developer importiert und für die Gebäudeklassifizierung herangezogen.

3.4 Gebäudeglättung über MBR-Ansatz

Bedingt durch die Segmentierung in Definiens Developer 7 entsprechen die Gebäudepolygone nach der Klassifizierung oftmals nicht der tatsächlichen Gebäudeform. Ein möglicher Ansatz zur Generalisierung stammt von DUTTER (2007). Es handelt sich um ein mehrstufiges Verfahren (siehe Abb. 9), bei dem zunächst das kleinste umschließende Rechteck (MBR = Minimum Bounding Rectangle) für ein Gebäudepolygon und damit die generelle Gebäudeausrichtung bestimmt wird. Bei Gebäudekomplexen in dicht besiedelten Ballungsräumen (z. B. Stadtkerne) mit z. T. nicht rechtwinkligen Strukturen ist dieser Ansatz jedoch nicht anwendbar, da dort eine zwingend notwendige Parallelität der Gebäudeseiten zum MBR nicht gegeben ist.

Das Verfahren ermittelt zuerst eine rechteckige Gebäudegrundform (siehe Abb. 9, Skizze A) und verfeinert diese bei Überschreitung zulässiger Standardabweichungen zunächst zur L-, T- oder Z-Form (Skizze B) und dann zur U-Form (Skizze C). Für eine genauere Beschreibung sei auf die Diplomarbeit von DUTTER (2007) verwiesen.

Im Rahmen des Projektes wurde das genannte Generalisierungsprinzip als C++-Programm nachgebildet und auf das Klassifikationsergebnis aus Definiens Developer angewandt. Das Verfahren stellt einige Anforderungen an die Eingabedaten: u. a. dürfen die Gebäudepolygone keine Löcher enthalten und die euklidischen Abstände zwischen den einzelnen Stützpunkten der Polygone müssen annähernd gleich verteilt sein (DUTTER 2007). Letzteres ist in der Praxis keineswegs sichergestellt, weil unter anderem zur Datenreduktion eine Glättung der Polygone durchgeführt wird.

Um dieses Problem zu umgehen, wurden Alternativen zur Standardabweichung getestet. So verspricht eine Berechnung der Differenzflächen (siehe Abb. 10, schraffierte Fläche) zwischen tatsächlichem Stützpunktverlauf innerhalb eines Gebäudeabschnitts (siehe Abb. 10, schwarzer Linienverlauf) und generalisierter Gebäudelinie (siehe Abb. 10, farbige Linien) eine höhere Ro-

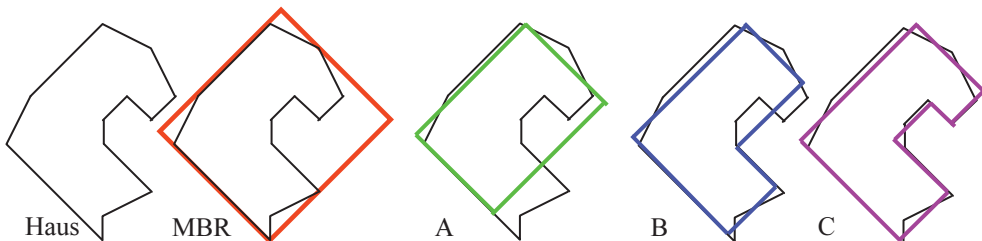


Abb. 9: Generalisierung nach DUTTER (2007), Generalisierungsstufen A, B und C.

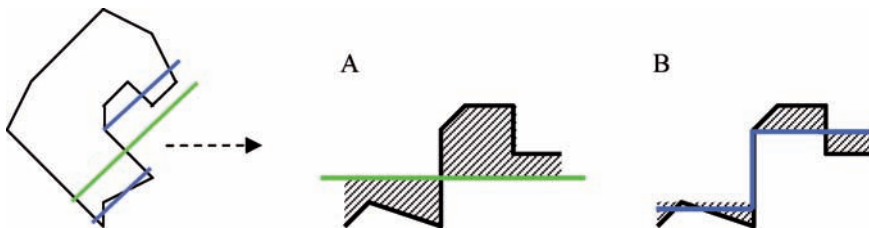


Abb. 10: Differenzflächen als Ersatz für Standardabweichung.

bustheit gegenüber ungleich verteilten Stützpunktabständen.

Da das Problem der Löcher in Gebäudepolygonen (z. B. Innenhöfe) im Testgebiet nur einen sehr geringen Bruchteil der Gebäude betrifft, wurde dies bisher im Verfahren nicht berücksichtigt. Die Löcher können aber als separate Polygone ebenfalls nach diesem Verfahren bearbeitet und im zweiten Schritt mit den dazugehörigen Gebäuden verschnitten werden. Die Durchführung und Überprüfung dieses Ansatzes steht noch aus. Beim gegenwärtigen Stand liefert der erste Generalisierungsschritt unter Verwendung von Differenzflächen als Qualitätsmerkmal bereits brauchbare Ergebnisse, allerdings sind die beiden darauf folgenden Generalisierungsschritte noch nicht vollständig implementiert. Somit lassen sich schon viele freistehende Gebäude, u. a. Einfamilienhäuser und Kasernengebäude, aber z. T. auch Industriegebäude mit Flachdächern generalisieren. Für die übrigen Gebäude wird die komplexe Polygonform beibehalten und muss ggf. manuell nachbearbeitet werden.

4 Erste Ergebnisse

Insbesondere bei der Gebäudeklassifikation kann die Genauigkeit gegenüber einer einfachen objektbasierten Klassifikation (in Definiens Developer) durch die Verknüpfung mehrerer unterschiedlicher Verfahren (siehe Abb. 1) verbessert werden. Die Walmdacherkennung aus Abschnitt 3.3 ist dabei auch auf Schwarz-Weiß-Bilder übertragbar. Ebenso funktionieren die vektorbasierten Verfahren mit ALK-Daten und der Ansatz

von DUTTER (2007) unabhängig von den zugrunde liegenden Luftbildaufnahmen.

Dies gilt jedoch nicht für die objektbasierte Klassifizierung in Definiens Developer, denn eine Übertragbarkeit erfordert farbangepasste (kalibrierte) Echtfarbaufnahmen. Ebenfalls beeinflusst eine unterschiedliche Auflösung der Bilddaten die Texturmerkmale und in geringerem Maße auch die Spektralinformationen und Formmerkmale.

Die Trennung von Vegetation und vegetationslosen Flächen anhand der in Abschnitt 3.2 genannten Formel (1) unterliegt einigen systematischen Fehlern. So sind Blutbuchen mit der o.a. Formel nicht als Vegetation greifbar. Im Gegenzug können grüne Gebäudedächer fälschlicherweise als Vegetation angenommen werden. Die Klassifikationsgenauigkeit hängt somit stark vom Vorhandensein derartiger Klassen im Untersuchungsgebiet ab.

Gebäude können ohne nDOM wegen spektraler und texturbasierter Variabilitäten noch nicht hinreichend genau von bodennahen Versiegelungsflächen getrennt werden. Weiterhin gestaltet sich das Finden geeigneter Merkmalskombinationen bei einigen Klassen (z. B. Kies- und Wasserflächen) äußerst schwierig, so dass bisher keine akzeptable Lösung für entsprechende Klassendefinitionen gefunden wurde. Zudem erfordern andere Bearbeitungsgebiete oder Bildaufnahmen zu anderen Jahreszeiten oft neu eingestellte Wertebereiche für die Klassenmerkmale. Hier wird mit der automatischen Merkmalsbestimmung aus Trainingsgebieten ein weiterer Aufgabenbereich der zukünftigen Forschung erkennbar.

Gegenwärtig ist keine Lösung für die Generalisierung zusammenhängender Gebäude-

dekomplexe in Stadtkernen vorhanden, da dort die Berechnung des MBR (siehe Abschnitt 3.4) keine verwertbaren Ergebnisse liefert. Versuche, die einzelnen Gebäude bereits in Definiens Developer zu trennen, lieferten bislang keine brauchbaren Ergebnisse. Die Gebäudekomplexe verlaufen oft entlang gebogener oder in spitzen Winkeln aufeinander treffender Straßen, die sich aus der Begrenzung durch frühere Stadtmauern zur Stadtverteidigung ergaben. Eine Rechtwinkligkeit ist dadurch meist nicht gegeben. Eine Trennung anhand spektraler Unterschiede der einzelnen Gebäudedächer ist durch Schattenwürfe und teilweise komplexe Dachformen sehr schwierig.

5 Ausblick

Mit dem momentanen Stand des Projektes können die Strukturen im äußeren Stadtgebiet im Gegensatz zur Innenstadt gut erfasst werden. Allerdings bedarf es auch hier noch einiger manueller Nacharbeiten. Nach einer ersten visuellen Beurteilung ist hier Potenzial für eine Reduzierung der Arbeitszeit im Vergleich zu einer vollständigen Digitalisierung gegeben. Eine quantitative Überprüfung dieser Einschätzung steht noch aus. Zum gegenwärtigen Projektstand sind noch nicht alle Möglichkeiten der automatischen Auswertung ausgeschöpft: Über die Walm-dacherkennung hinaus ist die Detektion anderer Dachformen noch nicht implementiert. Außerdem ist noch eine weitere Modifikation des Dutter-Ansatzes angedacht, bei der die unterschiedliche Verteilung von Stützpunkten als Qualitätskriterium einfließt.

Mit den erfassten Objektklassen (siehe Tab. 1) können die gewünschten Nutzungen abgeleitet werden, indem die Flächen (z. B. ein Flurstück) über die Zusammensetzung der Objektklassen und deren Flächenanteil einer Nutzung zugeordnet werden. Für die Erstellung eines Baulücken- und Baulandpotentialkatasters können in Verbindung mit der Grundflächenzahl aus dem digitalen Bebauungsplan mögliche Grundstücke identifiziert werden, die noch unbebaut bzw. nur geringfügig bebaut sind. Hier ist aller-

dings zu beachten, dass mit Methoden der Fernerkundung versiegelte Flächen unterhalb einer Baumkrone fälschlicherweise als Vegetation identifiziert werden, so dass aufgrund der vermeintlich geringeren Versiegelungsfläche mehr Grundstücke als potentiell gering überprägt ausgewiesen würden, als tatsächlich für das Kataster genutzt werden könnten.

Wie bereits in Abschnitt 2 angesprochen, sind neben der Nachverdichtung von Innenbereichen, wie sie durch ein Baulückenkataster unterstützt würden, u. a. auch historische Faktoren für ein qualitatives Flächenmanagement zu betrachten: Parallel zum Aufbau des automatischen Verfahrens wurden die historischen Luftbilder und Karten für ein begrenztes Areal innerhalb des Untersuchungsgebietes manuell ausgewertet und für die Bodenfunktionsbewertung herangezogen. Erste Ableitungen über die Bodenbeschaffenheit mittels des historischen Nutzungswandels konnten in Geländearbeiten bestätigt werden. Eine Nachbildung dieser manuellen Auswertung des historischen Nutzungswandels mit dem automatischen Verfahren steht noch bevor.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich im Namen der Firma EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH und der FH Osnabrück bei der Stadt Osnabrück für die Bereitstellung der Luftbilder und Zusatzdaten und für die gute Zusammenarbeit sowie beim Bundesministerium für Bildung und Forschung für die finanzielle Förderung.

Literatur

- Bundesbodenschutz Gesetz, 1998: Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten (BBodSchG). – Zuletzt geändert durch Art. 3 G v. 9. 12. 2004.
- Bundesregierung, 2004: Perspektiven für Deutschland – Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung. – Fortschrittsbericht 2004, Berlin.
- DUTTER, M., 2007: Generalization of building footprints derived from high resolution remote sensing data. – Diplomarbeit an der TU Wien.

- JEDICKE, E., 2001: Naturschutz in Dorf und Stadt – Grenzen der Innenentwicklung. – NABU-Naturschutzbund Deutschland e.V.: Flächen intelligent nutzen – Strategien für eine nachhaltige Siedlungsentwicklung. Erfurt, 49–58.
- HARALICK, R., SHANMUGAM, K. & DINSTEN, I., 1973: Textural features for image classification. – IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics **3** (6): 610–621.
- MVTec, 2007: Halcon 7.1 Dokumentation – www.halcon.de/download/documentation/reference-7.1/c/ (28.04. 2008)
- Rat für Nachhaltige Entwicklung, 2004: Mehr Wert für die Fläche: Das „Ziel-30-ha“ für die Nachhaltigkeit in Stadt und Land. – Empfehlungen des Rates für Nachhaltige Entwicklung an die Bundesregierung **11**.
- REIß-SCHMIDT, S., 2006: Innenentwicklung und Flächenmanagement in München. – Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen: Kommunales Flächenressourcen Management – Beispiele aus der städtebaulichen Praxis, München, 71–84.
- Statistisches Bundesamt, 2008: www-genesis.de-statis.de/genesis/online (17.04. 2008).
- TOMOWSKI, D., EHLERS, M., MICHEL, U., BOHMANN, G. & Institut für Geoinformatik und Fernerkundung (IGF), 2006: Objektorientierte Klassifikation von Siedlungsflächen durch multisensorale Fernerkundungsdaten. – gi-Reports@igf **3**. Osnabrück..

Anschriften der Autoren:

Dipl.-Ing. (FH) ADRIAN KLINK, Dipl.-Geografin CLAUDIA LÜCKE, Dipl.-Landschaftsökologin ANDREAS VÖLKER, EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH, Oststr. 2-18, D-48145 Münster, Tel. +49-251-133070, Fax: +49-251-1330733, e-mail: Claudia.Luecke | Adrian.Klink | Andreas.Voelker@eftas.com

Dr. SILKE HÖKE, Dipl.-Ing. (FH) MARKUS ROLF, FH Osnabrück, Am Krümpel 33, D-49009 Osnabrück, Tel. +49-541-969-5202, Fax: +49-541-969-5170, e-mail: s.hoeke | m.rolf@fh-osnabrueck.de

Manuskript eingereicht: Mai 2008

Angenommen: Juni 2008

Mitteilungen der DGPF

ESRI Absolventenprogramm feiert den 1000. Teilnehmer – In drei Jahren von 0 auf 1000

Mitte Mai war es soweit: Der 1000. Teilnahmeantrag für das ESRI Absolventenprogramm war eingetroffen. Dieser Meilenstein war – früher als erwartet – nach nur dreijährigem Bestehen des ESRI Absolventenprogramms erreicht.

Die Jubiläumsanmeldung kommt aus Niedersachsen: Eine Geografiestudentin der Georg-August-Universität Göttingen bewarb sich mit ihrer Arbeit zu „Beziehungen zwischen Landschaftsmustern und Artenvielfalt im Regenwaldbereich Zentral Sulawesi“ für die kostenlose GIS-Software von ESRI. Als Anerkennung und Dankeschön stellt ESRI Geoinformatik der Studentin neben der kostenfreien GIS-Software einen

Gutschein für insgesamt fünf Bücher von ESRI Press zur Verfügung.

Das ESRI Absolventenprogramm besteht seit nunmehr drei Jahren in enger Kooperation mit verschiedenen Fachverbänden, u. a. der DGPF.

Die Teilnahme steht Studierenden aller Fachrichtungen offen, die ihre Bachelor-, Master-, Diplom- oder Doktorarbeit an einer deutschen Universität angemeldet haben. Teilnehmende erhalten für ein Jahr eine kostenlose ArcGIS ArcView Lizenz inkl. aller Erweiterungen, wie beispielsweise 3D Analyst, Spatial Analyst, Network Analyst und Geostatistical Analyst für den eigenen PC.

Weitere Informationen zum ESRI Absolventenprogramm sind unter esri-germany.de/absolventenprogramm/index.html zu finden.

Berichte von Veranstaltungen

60. Geburtstag und „Silberne Promotion“ von Prof. Manfred Ehlers

Symposium „Geoinformatics paves the Highway to Digital Earth“ am 13. Juni 2008 an der Universität Osnabrück

Aus Anlass des 60. Geburtstages von Prof. Dr. MANFRED EHLERS kamen am 13. Juni 2008 an der Universität Osnabrück rund 75 Teilnehmer zu einem wissenschaftlichen Symposium zusammen, um unter dem Motto „Geoinformatics paves the Highway to Digital Earth“ ein buntgemischtes Programm aus Fachvorträgen, Erinnerungen und Anekdoten zu erleben.

In ihrer Begrüßung hob Prof. BEATE SCHÜCKING, Vizepräsidentin der Universität Osnabrück, ebenso wie auch später der Dekan des Fachbereiches „Mathematik und

Informatik“, Prof. JOACHIM HERTZBERG, die leistungsorientierte, interdisziplinär ausgerichtete und energische Arbeitsweise von MANFRED EHLERS hervor.

Anschließend wurden in mehreren Vorträgen und Grußworten Kernthemen der Geoinformatik aus verschiedenen Perspektiven beleuchtet. Dabei wurden die wissenschaftlichen Stationen von MANFRED EHLERS in chronologischer Folge gestreift. Als Erster gab Dr. PETER LOHMANN einen ausführlichen und sehr kurzweiligen Rückblick auf die gemeinsame Zeit an der Universität Hannover (1977 bis 1984), bevor er auf die aktuellen Arbeiten zu Veränderungsanalysen im Rahmen des Projektes „DeCOVER“ einging.

Stellvertretend für die Zeit des Jubilars in den USA (1984 bis 1990) überbrachte Prof. MARGUERITE MADDEN (University of Georgia), die frühere Präsidentin der Amerikani-



Prof. Ehlers bei seiner Dankesrede (©IGF, Uni Osnabrück)

sehen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung (ASPRS), ein Grußwort. Anschließend referierte Prof. WENZHONG (JOHN) SHI von der Hongkong Polytechnic University. JOHN SHI war nicht nur der erste Doktorand von MANFRED EHLERS am ITC Enschede (1990 bis 1991), sondern erhielt als Erster auch eine Professur. In seinem Vortrag zur Modellierung von Unsicherheiten in Geographischen Informa-

tionssystemen fasste JOHN SHI die Fortschritte zusammen, die in den letzten Jahren auf diesem Gebiet gemacht worden sind und auch zu gemeinsamen Publikationen mit MANFRED EHLERS geführt haben.

Die längere Periode an der Hochschule Vechta (1991 bis 2004) wurde durch einen langjährigen Mitstreiter in hochschulpolitischen Angelegenheiten und interdisziplinären Projekten, den Biologen Prof. RAINER EHRNSBERGER, gewürdigt. Stellvertretend für die Osnabrücker Phase (seit 2004) gab Prof. NORBERT DE LANGE ein provokantes Referat, in dem er die zukünftige Rolle von webbasierten Geo-Informationssystemen betonte und im Umkehrschluss das Aussterben von Desktop-GIS-Produkten prophezeite.

Abschließend wurde die aktive und gestaltende Rolle von MANFRED EHLERS in diversen nationalen und internationalen Organisationen gewürdigt. Prof. KLAUS GREVE, Vize-Präsident der Gesellschaft für Geoinformatik (GfGI), unterstrich die Motivation und Notwendigkeit zur Gründung dieser jungen Vereinigung, die aktuell von Manfred Ehlers geleitet wird. Daraufhin beleuchtete Prof. IAN DOWMAN, Präsident der Internationalen Gesellschaft für Photo-



Teilnehmer des Osnabrücker Symposiums (©IGF, Uni Osnabrück)

grammetrie und Fernerkundung (ISPRS), in seinem Vortrag die Aufgaben und Erfolge diverser internationaler Organisationen, und speziell den Wert der Erdbeobachtung, auf dem Weg zu einer „Digital Earth“, wie sie von AL GORE vor zehn Jahren gefordert wurde.

Zum Abschluss wurde durch den Moderator, Prof. JOCHEN SCHIEWE, darauf aufmerksam gemacht, dass MANFRED EHLERS im Jahr 2008 nicht nur seinen 60. Geburtstag, sondern auch den 25. Jahrestag seiner Doktorprüfung – also seine „Silberne Promotion“ – feiert. Aus diesem (inoffiziellen) Anlass wurde ihm eine Festschrift überreicht, die von 32 langjährigen Kollegen sowie Doktoranden und Habilitanden gestaltet wurde. Weiterhin wurde MANFRED EHLERS ein Doktorhut verliehen, auf dem eine Reihe von Ereignissen und Themen seiner wissenschaftlichen Karriere symbolisch verewigt wurden.

Zum Abschluss des Symposiums dankte Prof. MANFRED EHLERS im Besonderen den Personen, die den größten Einfluss auf sein Wirken und seine Entwicklung hatten: Prof. GOTTFRIED KONECNY, Prof. ROY WELCH, Prof. JACK ESTES und, last but not least, seiner Ehefrau Margret. Anlässlich der abendlichen After-Symposium-Party hatten die Teilnehmer bei ausführlichen Gesprächen und rockiger Musik Gelegenheit, die gelungene Veranstaltung Revue passieren zu lassen.

Die Festschrift „*Geoinformatics paves the Highway to Digital Earth*“ (Hrsg. JOCHEN SCHIEWE und ULRICH MICHEL) ist als Band 8 der „gi-reports@igf“ erschienen und kann beim Institut für Geoinformatik und Fernerkundung der Universität Osnabrück (sekretariat@igf.uni-osnabrueck.de) bezogen werden.

JOCHEN SCHIEWE, Hamburg

Hochschulnachrichten

MATTHIAS BUTENUTH erhält Otto von Gruber Award 2008 der ISPRS für Veröffentlichung in der PFG

Der *Otto von Gruber Award* der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung (ISPRS) wurde in diesem Jahr an MATTHIAS BUTENUTH verliehen. Der Preis würdigt hochkarätige wissenschaftliche Veröffentlichungen und stellt die weltweit wichtigste Auszeichnung für jüngere Wissenschaftler im Bereich Photogrammetrie und Fernerkundung dar, er wird nur alle vier Jahre vergeben. BUTENUTH durfte den Preis Anfang Juli dieses Jahres während der Eröffnungsfeier des ISPRS Kongresses in Beijing in Empfang nehmen.

MATTHIAS BUTENUTH arbeitete von August 2002 bis September 2007 am Institut für Photogrammetrie und GeoInformation (IPI) der Leibniz Universität Hannover und entwickelte im Rahmen seiner Dissertation einen neuen Ansatz zur Behandlung netzwerkartiger, deformierbarer Konturmodel-

le, so genannter Network Snakes. Über dieses Thema veröffentlichte er Anfang 2007 einen Aufsatz in der PFG, der jetzt von der ISPRS prämiert wurde. Inzwischen hat MATTHIAS BUTENUTH eine Post-Doc Stelle am Lehrstuhl für Methodik der Fernerkun-



derung der TU München inne und beschäftigt sich mit unterschiedlichen Forschungsprojekten aus dem Bereich Fernerkundung und Computer Vision.

Leibniz Universität Hannover

Herr Dipl.-Ing. MATTHIAS BUTENUTH promovierte am 09.06. 2008 an der Fakultät für Bauingenieurwesen und Geodäsie der Leibniz Universität Hannover mit der Arbeit „*Network Snakes*“ zum Dr.-Ing.

Referent: Prof. Dr.-Ing. habil. CHRISTIAN HEIPKE, Hannover, Koreferenten: Prof. Dr.-Ing. habil. WOLFGANG FÖRSTNER, Bonn, Prof. Dr.-Ing. habil. MONIKA SESTER, Hannover.

Kurzfassung:

In der Arbeit wird eine neue Methode der Active Contour Models, so genannte *Network Snakes*, entwickelt. Die Methode ermöglicht die Optimierung beliebiger Graphen zur Repräsentation von *Netzwerken* und *Grenzen zwischen benachbarten Objekten*. Potentielle Anwendungen sind die Optimierung von Straßennetzwerken oder Schlaggrenzen aus Fernerkundungsdaten, bio-medizinische Fragestellungen wie die Detektion benachbarter biologischer Zellen aus mikroskopischen Bilddaten oder industrielle Anwendungen.

Active Contour Models sind eine bekannte Methode der Computer Vision, die die Lücke zwischen low-level Merkmalsextraktion und high-level geometrischer Repräsentation von Objekten überbrückt. Jedoch ist das Konzept auf einzelne, u.U. geschlossene Objektkonturen beschränkt. Die Arbeit präsentiert zum ersten Mal eine allgemeingültige und umfassende Methode, die auf einem klaren mathematischen Modell basiert und die eine freie Bewegung aller Knoten und Kanten eines Graphen ermöglicht, ohne dabei durch bestimmte Nebenbedingungen eingeschränkt zu sein. Drei Ziele der Arbeit sind wie folgt definiert:

- Entwicklung einer neuen Methode der Active Contour Models, die Graphen mit Knoten eines beliebigen Grades optimiert, um offene Konturen, geschlossene Kontu-

ren und jegliche Netzwerke beschreiben zu können.

- Entwicklung einer neuen Methode der Active Contour Models, die Bilder ohne Lücken oder Überlappungen segmentiert, um benachbarte Objekte abgrenzen zu können.
- Entwicklung einer neuen Methode der Bildsegmentierung und Objektbegrenzung mit einer hohen Allgemeingültigkeit und Übertragbarkeit, um bei einer Vielfalt von Aufgaben zur Anwendung zu gelangen.

In der Arbeit werden die Konzepte der Parametric und Geometric Active Contours gegenübergestellt und der Stand der Forschung in Bezug zu den neuen Entwicklungen präsentiert. Die Diskussion zeigt, dass die explizite Repräsentation der Topologie nur im mathematischen Modell der Parametric Active Contours enthalten ist, weshalb die neue Methode auf diesem Konzept basiert. Insbesondere die Möglichkeit der Topologienutzung während der Minimierung des Energiefunctionals bevorzugt die explizite Repräsentation, um schlechte oder verrauschte Bilddaten bearbeiten zu können.

Die Voraussetzungen bezüglich Bilddaten, Initialisierung und Topologie werden betrachtet, um einen Rahmen für Network Snakes zu definieren. Der Kern der Arbeit ist die Einführung neuer Terme in das Energiefunctional, um das *neue mathematische Model* der Network Snakes zu entwickeln. Insbesondere die *interne Energie*, die das geometrische Formmodell der Kontur repräsentiert, ermöglicht durch die neue Definition die Optimierung beliebiger Knoten eines Graphen. Die Realisierung des Systems wird beschrieben, die optionale topologieerhaltene Energie zur Konservierung der Topologie wird präsentiert und die generelle Steuerung der Parameter wird behandelt. Alle Entwicklungen werden mit synthetischen Beispielen bildert, um die erreichten Ergebnisse grundlegend aufzuzeigen und mit traditionellen Parametric Active Contours zu vergleichen.

Die entwickelte Methode der Network Snakes wird mit synthetischen und echten

Daten analysiert und bewertet. Allgemeine Fragen bezüglich Initialisierung, Parametersteuerung, Iterationsverhalten und Topologie werden mit synthetischen Daten untersucht, um den Nutzen und die Grenzen von Network Snakes herauszustellen. Ein besonderer Fokus liegt auf der Bedeutung der eingeführten Topologie in das Modell der Parametric Active Contours. Ein wichtiges Ziel der Methode ist die Allgemeingültigkeit und Übertragbarkeit der Lösung, um nicht nur spezielle Anwendungen, sondern beliebige Netzwerke und Grenzen benachbarter Objekte beschreiben zu können. Zwei reale Anwendungen werden betrachtet: Die Extraktion von Schlaggrenzen aus Fernerkundungsdaten und die Abgrenzung von benachbarten biologischen Zellen aus mikroskopischen Bilddaten. Die Detektion von Schlaggrenzen spielt eine wichtige Rolle in den Geowissenschaften und der Landwirtschaft, um zum Beispiel schlaggenaue Risiken des Bodenabtrages zu erhalten, für das precision farming oder die Kontrolle von Subventionen. Die Abgrenzung von Zellen und deren Merkmale bezüglich Form, Größe und Helligkeitsverteilung sind eine bedeutende Aufgabe für die bio-medizinische Forschung und die Entwicklung von Heilstoffen. Ungelöste Probleme werden am Ende der Arbeit identifiziert und diskutiert, um zukünftige Herausforderungen zu benennen und mögliche zukünftige Forschungslinien aufzuzeigen.

Die Dissertation ist in der Schriftenreihe „Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Geodäsie und Geoinformatik der Leibniz Universität Hannover“ (ISSN 0174-1454) als Heft Nr. 272 erschienen. Gleichzeitig ist die Arbeit in der Reihe C der Deutschen Geodätischen Kommission bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften (ISSN 0065-5325) unter der Nr. 620 online veröffentlicht (www.dgk.badw.de).

Leibniz Universität Hannover

Herr M. Sc. MEHDI RAVANBAKHSH promovierte am 09.06. 2008 an der Fakultät für Bauingenieurwesen und Geodäsie der Leibniz Universität Hannover mit der Arbeit

„Road junction extraction from high resolution aerial images assisted by topographic database information“ zum Dr.-Ing.

Referent: Prof. Dr.-Ing. habil. CHRISTIAN HEIPKE, Hannover, Koreferenten: Prof. Dr. Ing. habil. HELMUT MAYER, München, Prof. Dr.-Ing. habil. MONIKA SESTER, Hannover

Kurzfassung:

In dieser Dissertation wird ein neuer Ansatz für die automatische Extraktion von Kreuzungen aus hochauflösenden Luftbildern mit Hilfe topografischer Daten präsentiert. Kreuzungen sind wichtige Komponenten eines Straßennetzes. Sie sind aber in aktuellen Straßenextraktionsansätzen in der Regel nicht explizit modelliert. Wir modellieren Kreuzungen und Kreisverkehre im Detail als Flächen-Objekte unter Berücksichtigung von Verkehrsinseln und entwickeln einen Ansatz, der eine Straßenextraktionsmethode mit einem neuartigen „Snake Model“ zur Erfassung der Kreuzung kombiniert, um äußere Grenzen von Kreuzungen zu extrahieren.

Die Informationen aus der geografischen Datenbank umfassen geometrische, radiometrische und topologische Eigenschaften der Kreuzungen. Diese Informationen ergeben eine grobe Vorstellung der Kreuzung und steuern spätere Arbeitsschritte.

Kanten werden detektiert und Straßensegment-Hypothesen werden mit Hilfe von verschiedenen geometrischen und radiometrischen Kriterien generiert. Außerdem werden Straßen-Markierungen extrahiert, wenn sie in der Szene existieren, um Straßensegmente zu überprüfen. Segmente mit ähnlichen geometrischen Eigenschaften werden miteinander zu Straßenarmen verknüpft. Die resultierenden Straßenarme liefern die Anfangsbedingungen für das „Snake Model“.

Wir schlagen ein neuartiges „Snake Model“ vor, welches das „Ziplock Snake“-Konzept verwendet und dessen äußeres Kraftfeld eine Kombination aus Ballonkraft und GVF (Gradient Vector Flow) ist. Außerdem ist die Ballonkraft verbunden mit den Kreuzungsformmerkmalen, die implizit in unserem „Snake Model“ enthalten sind.

Das GVF erhöht die Erfassungsreichweite der „Snake“, um die Kurven aus größeren Abständen anzuziehen. Die Ballonkraft hilft bei hoher Variation der Krümmung am Rand der Kreuzung und bei Mangel an Kontrast zwischen der Kreuzungsmitte und der Umgebung. Bevor die Snake-Optimierung startet, werden die Start-Snakes basierend auf der geometrischen Form der Kreuzung modifiziert, um eine nahe Initialisierung sicherzustellen. Der Rand der Kreuzung wird wegen der starken inneren Energie der Snakes beschrieben, ohne durch die verschiedenen Störungen beeinflusst zu werden. Die resultierende Außenlinie grenzt eine Fläche ab, auf der möglicherweise Verkehrsinseln existieren.

Ein Level-Set-(Niveaumengen-)Ansatz wird verwendet, um Inseln zu detektieren. Die anfängliche Level-Set-Funktion wird aus dem segmentierten Bild abgeleitet. Um sicher zu stellen, dass die entwickelten Kurven sich um Inseln zusammen schließen, werden geometrische und topologische Bedingungen basierend auf Eigenschaften von Verkehrsinseln eingeführt.

Diese Initialisierungs- und Entwicklungsstrategie ist aber nicht effektiv für Verkehrskreiseln. Stattdessen wird die Mittelinsel eines Kreisels durch Level Sets mit hybrider Entwicklungsstrategie detektiert. Diese hybride Strategie umfasst zwei Schritte: Schrumpfung und wiederholte Ausdehnung der Kurvenentwicklung. Schließlich wird nach einigen Nachverarbeitungsschritten die Mittelinsel erreicht. Da die Form eines Kreisels stark von der Form der Mittelinsel beeinflusst ist, wird erst die Mittelinsel detektiert und darauf basierend das äußere Kraftfeld der Snakes angepasst. Das äußere Kraftfeld der Snakes wird durch den GVF einer vorzeichenbehafteten Distanzfunktion modifiziert. Das modifizierte äußere Kraftfeld ist dazu bestimmt, die Snakes in Richtung des Kreiselrands zu ziehen, ohne Rücksicht darauf, wo sie am Anfang sind. Der Grund ist, dass die Kraftpfeile in jeder Position des modifizierten Kraftfelds auf den Kreiselrand zeigen.

Viele Tests des Ansatzes sind mit hochauflösenden Bildern von ländlichen und Stadt-

gebieten in Deutschland ausgeführt worden. Das erreichte Resultat demonstriert das Potenzial und die Angemessenheit des Ansatzes für die automatische Extraktion von Straßenkreuzungen.

Die Dissertation ist in der Schriftenreihe „Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Geodäsie und Geoinformatik der Leibniz Universität Hannover“ (ISSN 0174-1454) als Heft Nr. 273 erschienen. Gleichzeitig ist die Arbeit in der Reihe C der Deutschen Geodätischen Kommission bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften (ISSN 0065-5325) unter der Nr. 621 online veröffentlicht (www.dgk.badw.de).

Leibniz Universität Hannover

Herr Dipl.-Ing. ALEXANDER BRZANK promovierte am 20.06. 2008 an der Fakultät für Bauingenieurwesen und Geodäsie der Leibniz Universität Hannover mit der Arbeit „*Bestimmung Digitaler Geländemodelle in Wattgebieten aus Laserscannerdaten*“ zum Dr.-Ing.

Referent: Prof. Dr.-Ing. habil. CHRISTIAN HEIPKE, Hannover, Koreferenten: Prof. Dr.-Ing. NORBERT PFEIFER, Wien, Dr.-Ing. CLAUD BRENNER, Hannover

Kurzfassung:

Hochgenaue Digitale Geländemodelle (DGM) der Watten stellen eine essentielle Datenquelle für eine Fülle von Aufgaben und Anwendungen im Rahmen des Küstenschutzes sowie der Meeresforschung dar. Traditionell gestaltete sich jedoch die Erhebung der Messdaten insbesondere für die Erstellung großflächiger Modelle aufgrund der periodischen Überflutung schwierig. Deshalb mussten bei der Erzeugung eines DGM im Allgemeinen Einschränkungen hinsichtlich Genauigkeit und Aktualität in Kauf genommen werden. Mit Hilfe des luftgestützten Laserscannings ist man in der Lage, die Wattoberfläche großräumig, hochgenau und innerhalb eines kurzen Zeitfensters zu erfassen. Im Folgenden kann auf der Grundlage dieser Messungen ein präzises DGM generiert werden, sofern die spezifischen Beschränkungen des Messverfahrens

innerhalb des Untersuchungsgebietes berücksichtigt werden.

In dieser Arbeit wird ein neuer Arbeitsablauf zur Erstellung eines DGM in den Watten aus luftgestützten Laserscannerdaten entworfen. Für zwei entscheidende Schritte, namentlich die Klassifikation von Wasserpunkten und die Strukturlinienextraktion, wird darüber hinaus jeweils ein Algorithmus entwickelt und getestet.

Die Klassifikation von Wasserpunkten ist ein zentraler Schritt in der Berechnung des DGM. Sie ist notwendig, da die Laserpunktewolke im Regelfall sowohl Wasser- als auch Wattlepunkte umfasst. Alle Klassifikationsparameter werden aus Trainingsgebieten automatisch abgeleitet. Die entwickelte überwachte Methode basiert auf der Fuzzy-Logik und wird für jeden Flugstreifen separat durchgeführt. Für jeden Punkt wird ein Gesamtzugehörigkeitsgrad zur Klasse „Wasser“ berechnet und anschließend wird der Punkt anhand eines Schwellwertes entweder als Wasser- oder Wattlepunkt klassifiziert. Die verwendeten Merkmale sind Höhe, Intensität und 2D-Punktdichte. Anhand eines individuellen Gewichtes wird die Trennbarkeit beider Klassen bezüglich des spezifischen Merkmals ausgedrückt. Die Abhängigkeit der Ausprägung der Intensität und der 2D-Punktdichte vom Inzidenzwinkel des Laserstrahls wird aus den Trainingsdaten geschätzt und in der Gewichtung berücksichtigt. Nachfolgend werden die klassifizierten Punkte anhand mehrerer Schritte aufgrund definierter Regeln kontrolliert und eine Tiefpassfilterung durchgeführt.

Die Strukturlinienextraktion ist ein weiterer entscheidender Schritt im Hinblick auf die Erstellung eines hochgenauen DGM. Durch die Ableitung von markanten Linien der Wattoberfläche aus der unregelmäßigen Punktewolke können diese nachfolgend zusammen mit den Punkten bei der Modellierung des DGM verwendet werden, wodurch insbesondere im Bereich der Strukturlinien die Genauigkeit erhöht wird. Der vorgestellte Ansatz basiert auf der stückweisen Rekonstruktion der Geländeoberfläche im Bereich von paarweise auftretenden Strukturlinien mit der Tangens hyperbolicus

Funktion. Dabei können durch die Verwendung zweier unterschiedlicher Realisierungen sowohl geradlinige als auch gekrümmte Bereiche approximiert werden. Aus den innerhalb einer vermittelnden Ausgleichung nach der Methode der kleinsten Quadrate geschätzten Parametern wird nachfolgend für jede Recheneinheit je ein Punkt jeder Strukturlinie extrahiert. Anschließend werden korrespondierende Punkte einer Strukturlinie mit Hilfe einer Besselsplineinterpolation verknüpft, wodurch nicht gelöste Recheneinheiten überbrückt werden und eine kontinuierliche Linie ermittelt wird.

Anhand von mehreren Beispielen wurden die beiden Algorithmen ausgiebig getestet. Die Resultate der Evaluation zeigen, dass die vorgestellten Verfahren präzise und zuverlässige Ergebnisse liefern. Es wird festgestellt, dass die Vollständigkeit und Richtigkeit der Klassifikation von der Trennbarkeit beider Klassen anhand der Merkmale sowie der Größe der Übergangsbereiche abhängig ist. Die Güte der Extraktion der Strukturlinien hängt wiederum hauptsächlich von der Übereinstimmung des angesetzten Oberflächenmodells mit der Wirklichkeit ab.

Die Dissertation ist in der Schriftenreihe „Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Geodäsie und Geoinformatik der Leibniz Universität Hannover“ (ISSN 0174-1454) als Heft Nr. 274 erschienen. Gleichzeitig ist die Arbeit in der Reihe C der Deutschen Geodätischen Kommission bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften (ISSN 0065-5325) unter der Nr. 622 online veröffentlicht (www.dgk.badw.de).

Leibniz Universität Hannover

Herr Dipl.-Ing. RALPH SCHMIDT promovierte am 20.06.2008 an der Fakultät für Bauingenieurwesen und Geodäsie der Leibniz Universität Hannover mit der Arbeit „*Automatische Bestimmung von Verknüpfungspunkten für HRSC-Bilder der Mars Express-Mission*“ zum Dr.-Ing.

Referent: Prof. Dr.-Ing. habil. CHRISTIAN HEIPKE, Hannover, Koreferenten: Prof. Dr. GERHARD NEUKUM, Berlin, Prof. Dr. STEFFEN SCHÖN, Hannover

Kurzfassung:

Seit Anfang 2004 liefert die deutsche Zeilen-scanner-Kamera HRSC (High Resolution Stereo Camera) an Bord der europäischen Sonde Mars Express hoch aufgelöste stereoskopische Bildstreifen, mit denen zum ersten Mal eine systematische photogrammetrische Auswertung eines anderen Planeten möglich wird. Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Verfahren zur Digitalen Bildzuordnung entwickelt, mit dem automatisch gleichmäßig verteilte hochgenaue Verknüpfungspunkte in den HRSC-Bildern bestimmt werden können. Es wurde eine Prozessierungskette erstellt, mit der sämtliche Bildstreifen der Mission operationell verarbeitet werden können. Ein manuelles Eingreifen wird so weit wie möglich vermieden, um die großen Datenmengen effizient beherrschen zu können. Neben der Prozessierung von Einzelbildstreifen wurde auch eine Methode entwickelt, die auf mehrere sich überlappende Bildstreifen, welche einen Blockverband bilden, angewandt werden kann.

Als ein zusätzlicher Teilbereich der Prozessierungskette wurden Verfahren zur Bildrekonstruktion untersucht, um Kompressionsartefakte und Rauschen in den HRSC-Bildern zu vermindern. Das Ziel dieser Bearbeitung ist es, das Verfahren der Digitalen Bildzuordnung zu stabilisieren und eine höhere Anzahl an Verknüpfungspunkten zu extrahieren, um eine gleichmäßigere Abdeckung in den Bildern zu erreichen. Diese Anforderung ist von der anschließenden Bündelausgleichung (SPIEGEL 2007) gegeben, die zur Relativen Orientierung der Zeilenkamera ausreichend viele Verknüpfungspunkte benötigt. Auch zur Absoluten Orientierung mittels einer Anpassung an ein global verfügbares DGM (Digitales Geländemodell) ist eine gleichmäßig verteilte und möglichst lückenlose Punktwolke erforderlich. Neben einem klassischen Gauß-Filter wurden auch aktuelle Rauschunterdrückungsalgorithmen, wie z. B. die kantenerhaltende anisotrope Diffusion, untersucht. Die kantenerhaltenden Algorithmen konnten im Test mit HRSC-Daten allerdings keine Vorteile gegenüber einem 3×3 Gauß-Filter erzielen. Die Untersuchung in dieser Arbeit hat erge-

ben, dass im Schnitt 50% mehr Verknüpfungspunkte als ohne Filterung gefunden werden.

Zu den speziellen geometrischen Eigenschaften der HRSC-Daten gehören Maßstabsunterschiede, Makropixelbildung und Verzerrungen durch nicht optimal angepasste Integrationszeiten. Die HRSC-Bilder werden mit Hilfe des globalen DGMs vorentzerrt, wodurch diese speziellen Eigenschaften der Zeilenscanner-Daten bezüglich der Bildgeometrie, die die Bildzuordnung beeinträchtigen, weitgehend beseitigt werden. Die eigentliche Verknüpfungspunktsuche findet in den vorentzerrten Bildern statt, wobei zunächst in einem Ansatz basierend auf Bildpyramiden eine klassische Kreuzkorrelation durchgeführt wird. Durch die Vorentzerrung werden die Parallaxen stark verkleinert, so dass große Korrelationsfenster verwendet werden können. Diese sind wegen der oftmals nur geringen Textur in den Bildern notwendig. Danach wird die Genauigkeit der Punkte mit einem Multi-Image Least Squares-Verfahren noch gesteigert. Wie die Untersuchungen anhand von 45 Testbildstreifen in dieser Arbeit gezeigt haben, werden für die Strahlenschnitte im Durchschnitt eine hervorragende relative Genauigkeit von etwa 4 m in der Lage und 16 m in der Höhe erreicht. Dies entspricht ungefähr $1/8$ Pixel in der Lage bzw. $1/2$ Pixel in der Höhe bezüglich der durchschnittlichen Auflösung der vorentzerrten Bilder von 30 m. Der Anteil der durch die Bündelausgleichung eliminierten groben Fehler liegt bei unter 10%, was bei den anspruchsvollen HRSC-Daten ein sehr guter Wert ist. Für die Stabilität der Punkte ist noch der hohe Anteil von ca. 75% an Fünfstrahlpunkten ein wichtiger Faktor.

Während der ersten 5000 Marsumrundungen wurden von Mars Express ca. 1900 Bildstreifen von der Oberfläche aufgenommen, von denen etwa 1400 prozessiert werden konnten. Die übrigen waren aufgrund von Staubstürmen, geringer Textur, Lücken in den Bilddaten, Limb-Aufnahmen, Überbelichtungen oder zu kurzen Bildern für eine photogrammetrische Bearbeitung nicht verwertbar. Von diesen 1396 Bildstreifen konn-

ten 1138 erfolgreich mit der Bündelausgleichung verbessert werden. Gründe für das Misslingen der restlichen 258 Orbits seitens der Digitalen Bildzuordnung sind neben Gebieten mit zu geringer Textur vor allem schlechte Bildqualität. Abhilfe für dieses Problem schaffen hier nur neue Aufnahmen bei klarer Atmosphäre.

Neben der Einzelstreifenauswertung wurde anhand von zwei Beispielen die Verknüpfungspunktsuche in einem Blockverband untersucht. Hierbei hat sich gezeigt, dass in einem Block bestehend aus Bildstreifen ähnlicher Aufnahmegeometrie und guter Bildqualität flächendeckend viele Punkte hoher Genauigkeit zwischen den Streifen gefunden werden. Der Block des zweiten Beispiels ist aus Einzelstreifen aufgebaut, die über einen Zeitraum von zweieinhalb Jahren aufgenommen wurden. Die Bildqualität in dem über weite Strecken texturarmen Gebiet war in den radiometrisch teilweise stark unterschiedlichen Bildstreifen manchmal nicht ausreichend, um genügend Punkte für die Streifenverknüpfung zu finden. Auch in solchen Fällen müssen Bilder von guter Qualität bei klarer Atmosphäre aufgenommen werden, deren Beleuchtungsrichtungen sich nicht zu stark unterscheiden.

Die Dissertation ist in der Schriftenreihe „Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Geodäsie und Geoinformatik der Leibniz Universität Hannover“ (ISSN 0174-1454) als Heft Nr. 275 erschienen. Gleichzeitig ist die Arbeit in der Reihe C der Deutschen Geodätischen Kommission bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften (ISSN 0065-5325) unter der Nr. 623 online veröffentlicht (www.dgk.badw.de).

Stiftungspreis der Ingenieurkammer Niedersachsen für KARSTEN RAGUSE

Die Ingenieurkammer Niedersachsen hat in diesem Jahr einen Stiftungspreis an KARSTEN RAGUSE verliehen. Der Preis würdigt herausragende und praxisnahe wissenschaftliche Ingenieurleistungen. Herrn Raguse wurde die Auszeichnung im Rahmen des Neujahrsempfangs der Ingenieurkammer Niedersachsen im Januar 2008 von dem niedersächsischen Umweltminister Sander verliehen.



Umweltminister Sander gratuliert Dr. Raguse, im Hintergrund Dr. Hain, ein weiterer Preisträger.

Karsten Raguse war von März 2002 bis August 2003 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Photogrammetrie und Geo-Information (IPI) der Leibniz Universität Hannover und arbeitet seitdem in der Technischen Entwicklung der Volkswagen AG. Im Rahmen einer Kooperation zwischen IPI und der Volkswagen AG hat er im April 2007 seine Dissertation mit dem Titel „Dreidimensionale photogrammetrische Auswertung asynchron aufgenommener Bildsequenzen mittels Punktverfolgungsverfahren“ angefertigt, für die er jetzt ausgezeichnet wurde. Für weitere Details der Arbeit sei auf die in Heft 2, 2008 der PFG abgedruckte Kurzfassung verwiesen.

Buchbesprechung

OLGA WÄLDER, 2008. *Mathematical Methods for Engineers and Geoscientists*. Springer, Berlin.

Das von **OLGA WÄLDER** verfasste Lehrbuch präsentiert und erklärt in konziser Form sowohl klassische, als auch moderne mathematische Verfahren aus der Sicht ihrer Nutzbarkeit und Anwendbarkeit für konkrete Probleme, mit denen Ingenieure und Geowissenschaftler täglich konfrontiert werden. Das Lehrbuch ist in einer Sprache verfasst, die Studenten verschiedener Fachrichtungen zugänglich und allgemein verständlich ist. Es soll Grundlagen für die Auseinandersetzung mit komplizierten und auf den ersten Blick oft verwirrenden mathematischen Methoden vermitteln. Arithmetische Beispiele und zahlreiche Abbildungen unterstützen diesen Ansatz.

Das Werk ist in vier Kapitel gegliedert: „Vom Problem zu seiner Lösung durch ma-

thematische Modellierung“, „Einige reale Probleme und ihre Lösung“, „Praktische Beispiele der mathematischen Modellierung“ und „Einige Beispiele von Programmier-Codes“. In den ersten drei dieser Abschnitte werden mathematische Techniken ausführlich behandelt.

Die Erklärungen im Buch basieren auf der langjährigen Lehrerfahrung der Autorin in Angewandter Mathematik im ingenieur- und naturwissenschaftlichen Bereich. Inspiriert wurde die Mitarbeiterin des Instituts für Kartographie der TU Dresden zum Verfassen dieses Werkes durch häufige Anfragen von Studenten, Doktoranden und Kollegen. Ein umfassendes und doch straffes Werk, das ob seines überschaubaren Seitenumfanges auch leicht im Gepäck jedes Nutzers Platz findet: ein Vademecum.

MANFRED F. BUCHROITHNER, Dresden

Neuerscheinungen

THOMAS BRINKHOFF, 2008: Geodatenbanksysteme in Theorie und Praxis. Einführung in objektrelationale Geodatenbanken unter besonderer Berücksichtigung von Oracle Spatial. 2., überarbeitete und erweiterte Auflage, XII, 492 Seiten, Softcover, ISBN 978-3-87907-472-3, Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg.

ERICH BUHMANN, MATTHIAS PIETSCH, MARCEL HEINS (Hrsg.), 2008: Digital Design in Landscape Architecture 2008. Proceedings at Anhalt University of Applied Sciences. ca. XV, 472 S., Softcover, englisch, ISBN 978-3-87907-468-6, Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg.

THOMAS LUHMANN & CHRISTINA MÜLLER (Hrsg.), 2008: Photogrammetrie – Laser-scanning – Optische 3D-Messtechnik. Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2008. X, 349 Seiten, Softcover, ISBN 978-3-87907-463-1, Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg.

OLGA WÄLDER, 2008: *Mathematical Methods for Engineers and Geoscientists*. VIII, 176 S., 51 Abb., Hardcover, ISBN 978-3-540-75298-1, Springer, Berlin.

Veranstaltungskalender

2008

8.–9. Oktober: 2. **Hamburger Forum Geoinformationen für die Küstenzone** an der HafenCity Universität **Hamburg**. www.gis-kueste.de

12.–18. Oktober: **ECCV 2008 – European Conference on Computer Vision** in **Marseille**. eccv2008.inrialpes.fr

4.–5. November: **Praxisworkshop GIS & Internet** an der Bundeswehr-Universität **München**. E-mail: internetgis@unibw.de, www.unibw.de/bauv11/geoinformatik/weiterbildung

5.–7. November: **Kolloquium Denkmäler3.de** in der Zollverein School, Zeche Zollverein, **Essen**. www.denkmäler3.de

12.–14. November: **Digital Earth Summit on Geoinformatics: Tools for Global Change Research**. Wissenschaftspark Albert Einstein, **Potsdam**. www.isde-summit-2008.org

26.–28. November: 5th **International Symposium on LBS & TeleCartography** in **Salzburg**, Österreich. www.lbs2008.org

8.–11. Dezember: 19th **International Conference on Pattern Recognition** in **Tampa** (Tampa Convention Center), Florida, USA. www.icpr2008.org

2009

8.–14. Februar: 15. **Internationale geodätische Woche** in **Obergurgl**, Österreich. www.uibk.ac.at/geodaesie/obergurgl.html

3.–5. März: 14. **Münchner Fortbildungsseminar Geoinformationssysteme** in **München**. www.rtg.bv.tum.de

24.–26. März: **100 Jahre DGPF-Festveranstaltung** und 29. **Wissenschaftlich-technische Jahrestagung der DGPF** in **Jena**. www.dgpf.de/neu/jahrestagung/informationen.htm

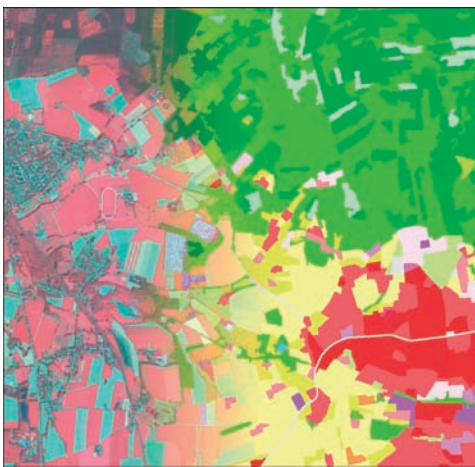
16.–19. März: **ISPRS WG VIII/12, 6th EAR-SeL SIG IS Workshop “IMAGING SPECTROSCOPY: Imaging Spectroscopy: Innovative tool for scientific & commercial environmental applications”** in **Tel-Aviv**, Israel. Auskünfte: Prof. Eyal Ben-Dor, e-mail: bendor@post.tau.ac.il, www.earsel6th.tau.ac.il

24.–25. März: **GI-TAGE-NORD 2009** in **Osnabrück**. www.gi-tage-nord.de

29. September – 2. Oktober: **ICCV2009 – International Conference on Computer Vision** in **Kyoto**, Japan. www.iccv2009.org

Zum Titelbild

Strukturwandel durch Nordwanderung des Steinkohlenbergbaus in der Region Herne



Aktuelle Landbedeckungs- und Landnutzungsdaten sind für viele öffentliche Aufgaben essentiell. Das Titelbild zeigt im Hintergrund eine IKONOS Szene vom 28. 05. 2005 der Region Herne, die als Grundlage für eine in der Überblendung dargestellte Testkartierung des Projektes DeCOVER diente. Die IKONOS Szene wurde für die Kartierung in einer künstlich verschlechterten Auflösung von 5×5 Metern genutzt, um die Anwendung zukünftiger RapidEye-Daten zu simulieren.

Mit dem Testgebiet Herne ist ein Raumausschnitt im nördlichen Ruhrgebiet an der Schwelle zum Münsterland gewählt worden. Entsprechend finden sich Komplexe aus verschiedensten Landschafts- und Biotoptypen. Urbane Strukturen mischen sich mit Elementen der agrarisch geprägten Münsteraner Parklandschaft – regional bisweilen in großer Dynamik, da die Nordwanderung des Steinkohlenbergbaus und der damit verbundenen Strukturwandel im Ruhrgebiet diesen Raum bis in die heutige Zeit zeichnen.

Der östliche Teil des vorliegenden Ausschnitts wird im Norden dominiert durch die *Haard*, einen mit überwiegend lichten Kiefernwäldern, teilweise größeren Birken- und mittelalten Roteichen- sowie vereinzelt älteren Eichenbeständen bewachsenen Teil des Naturparks *Hohe Mark*. An der südlichen Grenze schließt das in den roten Urbanklassen kartierte Stadtgebiet von Oer-Erkenschwick an. Die beiden großen im Südwestviertel des Bildes zu erkennenden linearen Verkehrsstrukturen führen in den Ort Marl-Sinsen. Etwa auf Höhe der Mitte dieser Verkehrsachsen sind südlich des Rennbahntrassen Flächen des Bergwerks Blumenthal/Haard, wie z. B. die rekultivierte Abraumhalde zu sehen.

Im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsprojektes DeCOVER werden Geoinformationsdienste für die Aktualisierung und Erstellung raumbezogener Fachdaten zur Landbedeckung und Landnutzung konzipiert. In dem Projekt arbeiten verschiedene privatwirtschaftliche Dienstleistungsunternehmen und Forschungseinrichtungen Hand in Hand. So ist die EFTAS GmbH hauptverantwortlich für die Gesamtkoordination des Projektes und das Institut für Photogrammetrie und Geoinformation der Leibniz Universität Hannover ist federführend bei den innovativen Entwicklungsarbeiten.

Entsprechend finden sich im DeCOVER Konzept Verfahren wieder, die mit dem Anspruch der kurz- bis mittelfristigen Operationalisierung modernste wissenschaftliche Ansätze aufnehmen. Der Beitrag *Einsatz von Change Detection Methoden zur Fortführung von DeCOVER Objektarten* in diesem Heft dokumentiert exemplarisch die konstruktive Zusammenarbeit.

OLAF BÜSCHER, EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH, Oststr. 2–18, D-48145 Münster, Tel.: 0251/133070, Fax: 0251/1330733, e-mail: olaf.buescher@eftas.com

Korporative Mitglieder

Firmen

AEROWEST GmbH
 AICON 3D Systems GmbH
 aphos Leipzig AG
 Applanix Corporation
 Becker & Keller, Beratende Ingenieure
 Bernhard Harzer Verlag GmbH
 Blom Deutschland GmbH
 Brockmann-Consult
 BSF Luftbild GmbH
 Büro Immekus
 CGI Systems GmbH
 con terra GmbH
 CONPIE GmbH
 Creaso GmbH
 DEFINIENS AG
 DELPHI IMM GmbH
 Deutsches Bergbau-Museum
 J. Linsinger ZT-GmbH
 EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH
 ESG Elektroniksystem- und Logistik-GmbH
 ESRI Geoinformatik GmbH
 EUROPEAN SPACE IMAGING
 Eurosense GmbH
 fokus GmbH
 fpi Fuchs Ingenieure GmbH
 FPK Ingenieurgesellschaft mbH
 g.on experience GmbH
 GAF GmbH
 GeoCad GmbH
 GeoCart Herten GmbH
 GeoContent GmbH
 geoplana Ingenieurgesellschaft mbH
 GEOSPACE Beckel GmbH
 GEOSYSTEMS GmbH
 GGS – Büro für Geotechnik, Geoinformatik, Service
 GIP Geoinformatics & Photogrammetric Engineering
 Hansa Luftbild AG
 Herbert Wichmann Verlag Hüthig GmbH
 IGI – Ingenieur-Gesellschaft für Interfaces mbH
 ILV Ing.-büro für Luftbildausw. und Vermessung

Imetric 3D GmbH
 Dr. H. Carls Luftbilddatenbank
 Inpho GmbH
 Intergraph GmbH, Geschäftsbereich Z/I Imaging
 INVERS – Industrievermessung & Systeme
 Jena-Optronik GmbH
 Johan Piedfort Photogrammétrie
 KAZ Bildmess GmbH
 Leica Geosystems GmbH
 Luftbild Brandenburg GmbH
 MAPS geosystems GmbH
 Messbildstelle GmbH
 Microsoft Photogrammetry
 PHOENICS GmbH
 PMS – Photo Mess Systeme AG
 Rollei Metric GmbH
 RWE Power AG, Geobasisdaten/Photogrammetrie
 technet GmbH
 TERRA-Bildmessflug GmbH & Co.
 TerraVista Umweltdaten GmbH
 TopoSys GmbH
 TRIGIS Vermessung + Geoinformatik GmbH

Behörden

Amt für Geoinformationswesen der Bundeswehr
 Amt für ländliche Räume Husum
 Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft
 Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
 Bundesmin. für Ern., Landw. und Verbraucherschutz
 DB Netz AG
 Hess. LA für Bodenmanagement und Geoinformation
 Innenministerium NRW, Gruppe Vermessungswesen
 Inst. für Umwelt- und Zukunftsforschung
 LA für Vermessung und Geoinformation, Bayern
 Landesbetrieb Geoinformation und Verm., Hamburg
 Landesvermessung und Geobasisinformation Nieders.

Landesvermessungsamt Baden-Württemberg
 Märkischer Kreis, Vermessungs- und Katasteramt
 Regierungsprärs. Stuttgart, LA für Flurneuordnung
 Regierungsprärs. Tübingen, Abt. 8 Forstdirektion
 Regionalverband Ruhr
 Staatsbetrieb Sachsenforst Pirna
 Stadt Bocholt, Fachbereich 31
 Stadt Düsseldorf, Vermessungs- und Katasteramt
 Stadt Köln, Amt für Liegensch., Verm. und Kataster
 Stadt Wuppertal, Verm., Katasteramt und Geodaten
 Thüringer LA für Vermessung und Geoinformation

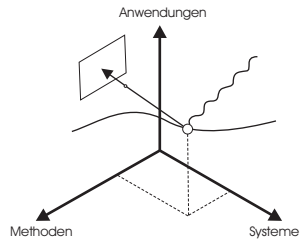
Hochschulen

BTU Cottbus, Lehrstuhl für Vermessungskunde
 FH Bochum, FB Vermessungsw. und Geoinformatik
 FH Frankfurt a.M., FB 1, Studiengang Geoinformation
 FH Karlsruhe, FB Geoinformationswesen
 FH Mainz, Inst. f. Raumbez. Inform.- und Messtechn.
 FH Oldenburg, Inst. für Angew. Photogr. und Geoinf.
 HCU HafenCity Uni Hamburg, Department Geomatik
 HfT Stuttgart, Vermessung und Geoinformatik

HTW Dresden, FB Vermessungswesen/Kartographie
 Ruhr-Uni Bochum, Geographisches Institut
 RWTH Aachen, Geodätisches Institut
 TU Berlin, Computer Vision & Remote Sensing
 TU Braunschweig, Inst. für Geodäsie und Photogr.
 TU Clausthal, Inst. für Geotechnik und Markscheidew.
 TU Darmstadt, Inst. für Photogrammetrie und Kartogr.
 TU Dresden, Inst. für Photogrammetrie und Fernerk.
 TU Freiberg, Inst. für Geologie, RSG
 TU München, FG Photogrammetrie und Fernerk.
 TU Wien, Inst. für Photogrammetrie und Fernerk.
 Uni Bonn, Inst. für Photogrammetrie
 Uni Göttingen, Inst. für Waldinv. und Waldwachstum
 Uni Hannover, Inst. für Kartogr. und Geoinformatik
 Uni Hannover, Inst. für Photogrammetrie und GeoInf.
 Uni Heidelberg, IWR Interdis. Zentr. f. Wiss. Rechnen
 Uni Karlsruhe, Inst. für Photogrammetrie und Fernerk.
 Uni Kiel, Geographisches Institut
 Uni zu Köln, Geographisches Institut
 Uni Stuttgart, Inst. für Photogrammetrie
 Uni Würzburg, Geographisches Institut

8. Oldenburger 3D-Tage

28./29. Januar 2009



Photogrammetrie - Laserscanning Optische 3D-Messtechnik

- ⇒ über 40 Fachvorträge
- ⇒ große Firmenausstellung
- ⇒ über 200 Teilnehmer
- ⇒ Vortragsanmeldung bis 17.11.08

www.fh-oow.de/3dtage

Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik
Fachhochschule Oldenburg/Ostfr./Wilhelmshaven
Ofener Str. 16-19 26121 Oldenburg (Oldb)