

PRG

Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation

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

Jahrgang 2006, Heft 5

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

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

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



E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung
(Nägele u. Obermiller) Stuttgart 2006



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:

© 2006 Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) e.V.
Präsident: Prof. Dr.-Ing. Thomas Luhmann, Fachhochschule Oldenburg Ostfriesland Wilhelmshaven, Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik, Ofener Str. 16, D-26121 Oldenburg, Tel.: +49-441-7708-3172, e-mail: Praesident@dgpf.de, www.dgpf.de
Geschäftsstelle: Dr. Klaus-Ulrich Komp, c/o EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH, Ostmarkstraße 92, 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.: 07 11/35 14 56-0, Fax: 07 11/35 14 56-99, e-mail: mail@schweizerbart.de
Internet: <http://www.schweizerbart.de>

© Gedruckt auf alterungsbeständigem Papier nach ISO 9706-1994

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

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

Verantwortlich für den Inhalt der Beiträge sind die Autoren.

ISSN 1432-8364

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

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

Erscheinungsweise: 7 Hefte pro Jahrgang.

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

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

Bernhard Harzer Verlag GmbH, Westmarkstraße 59/59a, D-76227 Karlsruhe, Tel.: 0721/944020, 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 2006, Heft 5

Inhaltsverzeichnis

Originalbeiträge zum Jubiläum „10 Jahre IAPG Oldenburg“

LUHMANN, T.: 10 Jahre <i>Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik (IAPG)</i> in Oldenburg, Vorwort	361
KUHN, H. & WEISENSEE, M.: 10 Jahre Geoinformatik am Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik	363
KRÜGER, A. & BRINKHOFF, T.: Konzeption, Entwicklung und Einsatz von e-Learning-Modulen in der Geoinformatik	371
BRINKHOFF, T.: Geodatenbanksysteme: Gestern, Heute und Morgen	379
MEYER, E.L. & SCHÖF, S.: Tourenoptimierung mit weichen Zeitfenstern	387
BRINKHOFF, T., GOLLENSTEDE, A., LORKOWSKI, P. & WEITKÄMPER, J.: Tourismus und Geoinformatik: Berührungspunkte	397
DE VRIES, A.: Geomarketing – der gläserne Kunde oder Planung des Unplanbaren?	405
JAQUEMOTTE, I.: Visualisierung und Analyse dynamischer Geodaten am Beispiel von Schiffsbewegungen in begrenzten Fahrwassern	411
LUHMANN, T., HASTEDT, H. & TECKLENBURG, W.: Modellierung der chromatischen Aberration in Bildern digitaler Aufnahmesysteme	417
LUHMANN, T., WENDT, A. & GODDING, R.: Dynamische Oberflächenrekonstruktion in Stereobildsequenzen von Hochgeschwindigkeitskameras	427
LUHMANN, T. & SAHRHAGE, V.: Konzepte zur optischen 3D-Navigation von Sensoren	439

Originalbeiträge

HOF, A.: Monitoring Land-use Change in Northwest Nigeria by an Analysis of Multisensor Data – Corona, Landsat MSS, TM and ETM+	445
--	-----

Berichte

Europäische Kommission – EUSI –Vertrag vom 5. 4. 2006	455
International Summer School „3D“ vom 24. bis 29. 4. 2006 in Kreta	455
AK-Beratung „Sicherheit für Geo-Web-Services“ am 17. 5. 2006 in München .	456
ISPRS Kommission VII Symposium vom 8. bis 11. 5. in Enschede	457
EuroSDR Steering Committee Meeting 2. 6. 2006 in Skåvsjöholm, Schweden .	458
AGIT 2006 vom 5. bis 7. Juli 2006 in Salzburg	458
Hochschulnachrichten	
Universität Bonn, Geodätisches Kolloquium	460
ETH Zürich, Lehrgang Räumliche Informationssysteme	460
Buchbesprechung – R. Sandau	461
Vorankündigungen	462
Zum Titelbild	464
Mitteilungen der DGPF, e-mail-Rundschreiben des Präsidenten der DGPF	464

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

10 Jahre „Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik“ (IAPG) in Oldenburg, Vorwort

THOMAS LUHMANN, Oldenburg

Keywords: Photogrammetry, Geoinformatics, IAPG Oldenburg

Im Sommer 1996 wurde das Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik (IAPG) als so genanntes *In-Institut* im damaligen Fachbereich Vermessungswesen der Fachhochschule Oldenburg gegründet. Der Schritt mag aus heutiger Sicht ohne große Bedeutung scheinen, war aber vor zehn Jahren ein mutiges und für eine Fachhochschule ungewöhnliches Vorhaben. Die damals an Forschung interessierten Professoren und Mitarbeiter hatten zum Ziel, ihre Aktivitäten zu bündeln und unter ein auch nach außen sichtbares Dach zu bringen. Heute zählt das IAPG regelmäßig bis zu 30 Mitglieder, davon sieben Professorinnen und Professoren, aber nur drei fest angestellte Mitarbeiter.

Zu den wesentlichen Meilensteinen der Institutsgeschichte gehören:

- Durchführung der DGPF-Jahrestagung 1996;
- Einführung des ersten deutschsprachigen Studienganges für Geoinformatik 1997 (damals Geoinformationswesen);
- Durchführung der seit 2002 jährlich stattfindenden Oldenburger 3D-Tage für Photogrammetrie, Laserscanning und Optische 3D-Messtechnik;
- zahlreiche nationale und internationale Forschungsprojekte mit einem jährlichen Drittmittelaufkommen von mehr als 500.000 €;
- zahlreiche Projekte mit Industrie und Verwaltung;
- Leitung und Mitarbeit in den niedersächsischen Forschungsschwerpunkten „Raum – Rohr – Boden“ (1997–2002), „Biologische Bodensanierung“ (2001–

2006) und „Dynamische optische 3D-Messtechnik“ (2005–2009);

- Engagement in zahlreichen Gesellschaften und Arbeitskreisen (VDI, DGPF, ISPRS, VDV, DVW, FIG, DGfK, ACM, GI, SIG-MOD...);
- Mitglied im Kompetenzzentrum „Geoinformatik in Niedersachsen“ (GIN);
- Mitglied im niedersächsischen Forschungsnetzwerk „Bildgebende Sensortechnik“;
- Herausgabe mehrerer Lehrbücher und Tagungsbände;
- Veröffentlichung von mehr als 120 wissenschaftlichen Publikationen seit 1996;
- regelmäßige Präsenz auf nationalen und internationalen Ausstellungen und Tagungen;
- mehrere Doktoranden in Kooperation mit verschiedenen Universitäten;
- mehr als 300 betreute Diplomarbeiten seit 1996.

Aus Anlass des zehnjährigen Bestehens erscheint dieses PFG-Themenheft mit einer Übersicht über aktuelle Projekte und wissenschaftliche Arbeiten. Auch wenn nicht jedes Projekt hier vorgestellt werden kann, so zeigen die Beiträge doch das breite Themenspektrum und die anwendungsorientierte Forschungsausrichtung des IAPG.

Der Beitrag von HELMUT KUHN & MANFRED WEISENSEE stellt die Entwicklung der Geoinformatik in Oldenburg vor. Die Einbettung der Forschung in die Lehre hat dabei zu einem aktuellen und nachgefragten Studienangebot geführt, das mit den neuen Bachelorstudiengängen „Angewandte Geodäsie“ und „Geoinformatik“ (seit Winterse-

mester 2005/2006) und dem bereits akkreditierten Masterstudiengang „Geodäsie und Geoinformatik“ (M. Sc., ab 2008) zukunfts- und praxisorientierte Strukturen aufweist.

Eine wichtige Entwicklung in der Hochschulausbildung stellt das e-Learning dar. ANTJE KRÜGER & THOMAS BRINKHOFF berichten dazu aus einem aktuellen Projekt, das in Kooperation mit anderen niedersächsischen Hochschulen durchgeführt wird. Der Beitrag widmet sich der Entwicklung und dem Einsatz von e-Learning-Modulen in der Geoinformatik, wobei die Kombination zwischen selbstständigem und geführtem Lernen im Vordergrund steht.

In den letzten Jahrzehnten haben sich Geodatenbanksysteme von einem Forschungsgebiet zu einem essenziellen Baustein offener GI-Infrastrukturen entwickelt. Mit seinem Beitrag schildert THOMAS BRINKHOFF diese Entwicklung und den heute erreichten Stand in Wissenschaft und Technik. Auf dieser Basis wird ein Ausblick auf die Trends gewagt, die in den nächsten Jahren diesen Themenbereich voraussichtlich bestimmen werden.

Die Anwendungsmöglichkeiten von Geoinformatiksystemen in der Touristik diskutieren THOMAS BRINKHOFF, ANDREAS GOLLENSTEDE, PETER LORKOWSKI & JÜRGEN WEITKÄMPER. Schwerpunkte dieses Beitrags stellen der Einsatz moderner Webtechnologien und mobiler Endgeräte dar.

Geoinformationssysteme sind heute auch ein wichtiges Marketingwerkzeug, wie AXEL DE VRIES in seinem Artikel zeigt. Unvorhersehbares Kundenverhalten bleibt jedoch ein Unsicherheitsfaktor, der sich auch nicht durch noch präzisere Geo- und Metadaten beheben lässt.

STEFAN SCHÖF berichtet über Modelle zur Tourenplanung im Versandhandel. Es wird ein neuartiger Ansatz vorgestellt, der die günstigste Tour unter Berücksichtigung von gefahrener Zeit und Strecke sowie von zeitlichen Restriktionen und ggf. Strafzahlungen bei Verspätungen bestimmt.

Dynamische Messaufgaben gewinnen ständig an Bedeutung. Die hierfür notwendigen Visualisierungswerkzeuge sind noch unterentwickelt. Heutige Möglichkeiten

und Grenzen verschiedener grafischer Systeme diskutiert INGRID JAQUEMOTTE am Beispiel des dynamischen Schwimmverhaltens von großen Schiffen in begrenzten Fahrwassern.

Photogrammetrische Themen aus dem Nahbereich werden in den letzten drei Beiträgen präsentiert. THOMAS LUHMANN, HEIDI HASTEDT & WERNER TECKLENBURG stellen ein Verfahren vor zur Modellierung der chromatischen Aberration von Objektiven. Es wird nachgewiesen, dass wellenlängenabhängige Abbildungsfehler erfasst und physikalisch plausibel modelliert werden können.

Im Beitrag von THOMAS LUHMANN, AXEL WENDT & ROBERT GODDING wird die Erfassung von Deformationen an Freiformflächen aus Mehrbildsequenzen erläutert. Hierbei liegen Hochgeschwindigkeitsaufnahmen, die ein sich schnell veränderndes flächenhaftes Objekt aufnehmen, zugrunde. Ergebnis der Auswertungen sind 3D-Oberflächenmodelle mit zeitlicher Komponente, die heute auch 4D-Objektmodelle genannt werden.

Schließlich beschäftigen sich THOMAS LUHMANN & VOLKER SAHRHAGE mit Konzepten und Anwendungen zur Navigation von Sensoren mit Hilfe von einer oder mehreren Kameras. Optische Navigationssysteme sind in der Medizin, aber auch in der Industrie immer häufiger anzutreffen. Wissenschaftlich sind sie jedoch bisher kaum untersucht worden.

Der Dank aller Autoren und Mitglieder des IAPG geht an die Schriftleitung der PFG für die Möglichkeit, ein ganzes Heft gestalten zu können. Ein weiterer Dank gilt den zahlreichen Kooperationspartnern aus Wirtschaft und Verwaltung, ohne die anwendungsnahe Forschung nicht möglich wäre. Schließlich bedankt sich das IAPG bei den Fördermittelgebern von VW-Stiftung, AGIP, EU, BMBF und weiteren Institutionen, ohne deren Hilfe die personelle und materielle Ausstattung der Forschungsprojekte nicht hätte realisiert werden können.

THOMAS LUHMANN,
Oldenburg im Juni 2006

10 Jahre Geoinformatik am Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik

HELMUT KUHN & MANFRED WEISENSEE, Oldenburg

Keywords: Geomatics, programs of study, research and development

Abstract: *10 years of GeoInformatics at the Institute for Applied Photogrammetry and GeoInformatics.* This article describes the development of geoinformatics at the Institute for Applied Photogrammetry and GeoInformatics during the past 10 years. Besides a description of programs of study in the field of geomatics and a presentation of selected research projects, the authors perception of the goals of development and the general framework at the university of applied sciences is given.

Zusammenfassung: Der Beitrag betrachtet die Entwicklung von Lehre und Forschung im Fachgebiet Geoinformatik seit der Gründung des Instituts für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik. Neben einer kurzen Darstellung der Studiengänge im Geoinformationswesen sowie ausgewählter Forschungs- und Entwicklungsprojekte werden die Entwicklungsziele und Rahmenbedingungen an der Hochschule aus der Sicht der Autoren gewürdigt.

1 Einleitung

Zahlreiche Indikatoren lassen sich zur Beschreibung der Veränderung und Weiterentwicklung des Fachgebietes Geoinformatik in den vergangenen 10 Jahren – also seit der Gründung des Instituts für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik – heranziehen und auf ihren Einfluss auf den heutigen Stand und die zukünftige Entwicklung dieser jungen Disziplin mit weit in die Geschichte zurück reichenden Wurzeln untersuchen.

Wurden noch zur Zeit der Institutsgründung Katasterämter, Landesvermessung, Kommunale Vermessungsämter sowie Vermessungsstellen bei Bundesbahn, Straßenbaubehörden, Wasser- und Schifffahrtsbehörden, Flurbereinigungsbehörden an erster Stelle der möglichen Arbeitgeber der Absolventinnen und Absolventen des damaligen Fachbereichs Vermessungswesen genannt und bildeten Arbeitsplätze beispielsweise in der Softwareentwicklung oder in Forschung und Entwicklung eine Ausnah-

me, so ist innerhalb von 10 Jahren eine vollständige Umkehrung der Verhältnisse eingetreten, welche durch den in allen öffentlichen Haushalten eingeplanten Personalabbau absehbar Bestand haben wird.

Weiterhin ist eine sehr deutliche Ausdehnung der Bandbreite in den Branchen der Beschäftigungsverhältnisse der Absolventinnen und Absolventen festzustellen. Auch wenn Ursprung und Genauigkeit der Angabe, über 80 % aller Entscheidungen in Wirtschaft, Verwaltung und privatem Sektor basierten auf raumbezogenen Informationen, unsicher sein mögen, so belegen doch diese Beschäftigungsverhältnisse das Einsatzspektrum im Anschluss an ein Studium, welches sich an den Anforderungen potenzieller Arbeitgeber orientiert und diese konsequent in das Curriculum integriert. Bemerkenswert ist jedoch, dass – vielleicht gerade wegen dieser Vielfalt der Einsatzbereiche – eine Suche auf den Internetseiten des Portals der Arbeitsagentur auch im Jahr 2006 noch keinerlei Informationen über das Berufsbild *Geoinformatiker/-in* liefert.

Beide vorgenannten Veränderungen setzen einen engen Kontakt zwischen Hochschule und Arbeitgeber voraus und weisen damit auf einen Wandel im Verhältnis zwischen Ausbildungs- und Arbeitsstätte hin, welcher auf die Einführung zweier Praxissemester in das Fachhochschulstudium zu Beginn der 90er Jahre und die beginnende finanzielle Förderung von Projekten und Kooperationen insbesondere zwischen den Fachhochschulen und kleinen und mittleren Unternehmen KMU durch die Bundesländer zurückzuführen ist. Der Erfolg dieser Maßnahmen ist unbestreitbar, nutzt er doch Hochschulen und Arbeitgebern gleichermaßen in fachlicher wie in finanzieller Hinsicht.

Ein nicht weniger bedeutsamer Indikator für Veränderungen ist die Betrachtungsweise eines Fachgebietes und der in diesem Fachgebiet entwickelten und verwendeten Werkzeuge. Aus einer weitestgehend technischen und an Daten orientierten Sicht der frühen Jahre auf Geoinformatik und Geoinformationssysteme resultierte das EVAP-Prinzip der Erfassung, Verwaltung, Analyse und Präsentation raumbezogener Daten in einem Geoinformationssystem (BILL 1999). Eine mittlerweile wesentlich stärkere handlungsorientierte Sicht definiert das EVAP-Prinzip durch Entwicklung, Vertrieb, Ausbildung und Produktion von bzw. mit Geoinformationssystemen. Diese Sicht trägt der Einbindung von Geoinformationssystemen in Organisations- und Produktionsprozesse sowie der Anbindung von Workflow-Managementsystemen und betriebswirtschaftlicher Software deutlich stärker Rechnung und betont damit den interdisziplinären Charakter des Fachgebietes Geoinformatik.

2 Studium und Lehre

An der ehemaligen Fachhochschule Oldenburg hat sich die Geoinformatik wie auch an anderen Hochschulen aus einem Fachbereich Vermessungswesen entwickelt. Im Unterschied zu anderen Entwicklungsmöglichkeiten wurde der Weg der Interdisziplinarität im fachlichen wie im personellen Bereich frühzeitig beschritten.

2.1 Lehrveranstaltungen im Studiengang Vermessungswesen

Die Einführung einzelner Lehrveranstaltungen der Geoinformatik im klassischen Studiengang Vermessungswesen führte, beginnend mit einem Wahlfach *Automation* zu Beginn der 90er Jahre, zu einem Katalog an Fächern, dessen Umfang eine Spezialisierung oder ein Vertiefungsstudium bereits 1993 deutlich sprengte:

- Programmiersprachen,
- Betriebssysteme und Netzwerke,
- Datenbanken,
- Rastergrafik und Vektorgrafik,
- Digitale Bildverarbeitung etc.

Die Einführung eines *Zertifikat Geoinformatik* nach Absolvieren dieser Fächer erhöhte zwar den Umfang des Studiums, wurde jedoch de facto von Arbeitgebern sogar gegenüber dem Diplom als bedeutsamer eingeschätzt.

2.2 Diplomstudiengang Geoinformationswesen

Eingeführt zum Wintersemester 1997/1998 ist dieser Studiengang der erste Diplomstudiengang der Geoinformatik an einer deutschen Hochschule. Die Begründung eines eigenständigen Geoinformatik-Studiengangs neben dem klassischen Studiengang Vermessungswesen resultierte wesentlich aus der Synthese der Anforderungen der Arbeitgeber und der vorhandenen Ausbildungspotenziale (RABE 1995).

Angestrebt wird vom Fachbereich ein eigenständiger Studiengang, da nur auf diese Weise eine umfangreiche Ausbildung in der EDV (...) und in den interdisziplinären Fächern (...) sowie in den Fächern der Datenerfassung, -beurteilung, -modellierung, -speicherung, -analyse, -verwaltung und -präsentation möglich ist, ohne das Studium zu verlängern. Auf die Einführung einer Vertiefungsrichtung wird verzichtet, da durch die begrenzte Studiendauer keine qualifizierte Ausbildung in der Geoinformatik möglich ist. Und: Der Studiengang soll sich aus der Ausbildung des Vermessungsingenieurs entwickeln ...

In diesem Studiengang wurde die *Rahmenordnung für die Diplomprüfung im Studiengang Vermessungswesen an Fachhochschulen 1995* nicht eingehalten. Bereits zu diesem Zeitpunkt war jedoch absehbar, dass negative Konsequenzen für die Absolventinnen und Absolventen des Studiengangs nicht zu befürchten waren.

2.3 Diplomstudiengang Geoinformatik

Der Diplomstudiengang Geoinformationswesen wurde zum Sommersemester 2001 in den Studiengang Geoinformatik überführt. Die Gründe für die Veränderung lagen wiederum in den Anforderungen der Berufspraxis und konnten durch mehrere Neubeförderungen mit interdisziplinärem Kontext realisiert werden, um der Tatsache Rechnung zu tragen, dass ein solcher Studiengang nicht ausschließlich von Vermessungsfachleuten getragen werden kann.

2.4 Einführung des Bachelor-Master Systems

Zum Wintersemester 2005/2006 wurden an der Fachhochschule Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelmshaven alle Diplomstudiengänge eingestellt und es wurden Bachelor-

und Master-Abschlüsse eingeführt (WEBER 2006). In der Fachrichtung Geoinformation des Fachbereichs Bauwesen und Geoinformation wurden die Bachelor-Studiengänge *Angewandte Geodäsie* und *Geoinformatik* mit deutlich unterschiedlichen Fachanteilen eingeführt (Abb. 1).

Zum Wintersemester 2005/2006 wurden in den beiden Bachelor-Studiengängen erstmalig insgesamt 75 Studierende immatrikuliert.

Der Master-Studiengang Geodäsie und Geoinformatik wird gemäß Zielvereinbarung mit dem Ministerium für Wissenschaft und Kultur zum Sommersemester 2008 erstmalig Studierende aufnehmen.

Alle drei Studiengänge wurden im Jahr 2005 durch die Zentrale Evaluations- und Akkreditierungsagentur, Hannover ZEvA ohne Auflagen akkreditiert.

2.5 Praxisphasen und Diplomarbeiten

Das Modell der Praxissemester in Diplomstudiengängen an Fachhochschulen hat sich vor allem für den reibungslosen Übergang vom Studium ins Berufsleben bestens bewährt. Weit mehr als die Hälfte aller Studierenden, die eine Diplomarbeit im Bereich Geoinformatik absolvierten, hatten die Gelegenheit, bei ihrer Praxissemesterstelle den Start ins Berufsleben in Form einer ersten Anstellung zu erhalten.

Das erste Praxissemester in Diplomstudiengängen diente wesentlich zur Orientierung vor Hauptstudium und konkreter Planung vor Diplomarbeit und Berufseinstieg. In den neu eingeführten Bachelor-Studiengängen entfällt jeweils das erste Praxissemester zu Gunsten einer Verkürzung der Studiendauer. Zwar war die Anerkennung einer Berufspraxis bei Studierenden mit absolvierter Ausbildung bereits in den Diplomstudiengängen möglich, zahlreiche Studierende haben dennoch von der Möglichkeit der Orientierung und ggf. Neuausrichtung in dieser Praxisphase – häufig auch im Ausland – Gebrauch gemacht.

Das zweite Praxissemester mit einer Dauer von 22 Wochen wird im Regelfall in Zu-

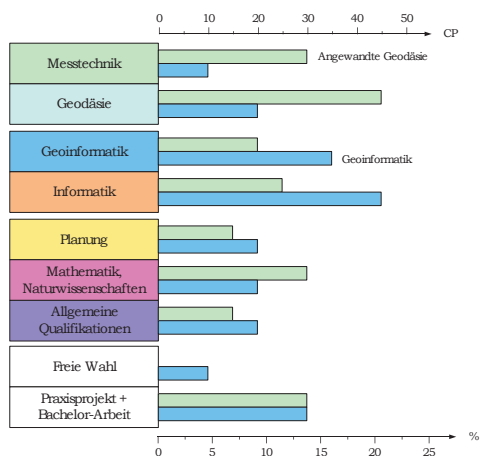


Abb. 1: Fachanteile der Bachelor Studiengänge Angewandte Geodäsie und Geoinformatik im Vergleich (WEBER 2006).

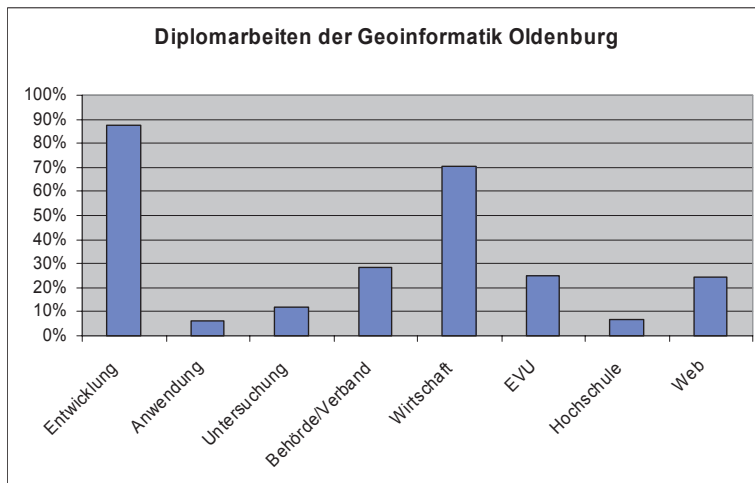


Abb. 2: Zuordnung der Diplomarbeiten der Fachrichtung Geoinformatik im IAPG zu Themengebieten.

sammenarbeit mit Firmen, Behörden usw. durchgeführt. In dieser Zeit wird die Diplomarbeit (regulär 10 Wochen) vorbereitet. Eine besondere Praxisnähe der Diplomarbeiten wird dadurch sichergestellt. Ca. 70% der Arbeiten werden mit der Wirtschaft durchgeführt und ca. 30% mit Verwaltungseinrichtungen im weiteren Sinn. Themen im Umfeld von EVU's wurden bisher in ca. 25% aller Diplomarbeiten behandelt. Hierzu gehört natürlich das gesamte Spektrum wie Fachschalen vieler Anwendungsbereiche, Workforce-Managementsysteme, Störungsmanagement, GIS und Leittechnik, Qualitätssicherung, Prozessoptimierung, SAP-Anbindungen und vieles mehr.

Eine Besonderheit bei den Diplomarbeiten ist, dass nahezu 90% aller Arbeiten einen Anteil in der Entwicklung von Software haben. Dabei werden Programmierungen mit allen gängigen Systemen und auch mit freier Software durchgeführt, das Themenspektrum umfasst Datenbanken, Computergraphik, Laserscanning, Bildverarbeitung und Mustererkennung, Digitale Geländemodelle, Web-Applikationen, Stadtmodelle etc.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass Anwendungen und Untersuchungen gegenüber Entwicklungsarbeiten untergeordnet sind und dass die Kooperation mit der Wirt-

schaft besonders gut gepflegt wird. Durch die intensive Informatikausbildung während des gesamten Studiums ist es selbstverständlich, dass auch komplexe Arbeiten durchgeführt werden wie z. B. Web-Anwendungen (ca. 25%), Prozesssteuerung und vieles mehr. Viele Diplomarbeiten fanden direkten Zugang in die Praxis. Besonders erwähnenswert ist die Entwicklung des Prototyps der Smallworld-Ferngasfachschale in Verbindung mit Erdgas-Münster. Weitere in die Praxis überführte Arbeiten könnten hier angereicht werden. Eine vollständige Auflistung über die Vielfalt der verschiedenen Diplomarbeiten kann im Internetauftritt des IAPG eingesehen werden.

Erfahrungen mit Bachelor- und Master-Arbeiten liegen im IAPG noch nicht vor. Durch integrierte Praxisphasen im Studienverlauf der neuen Studiengänge wird jedoch sichergestellt, dass der Praxisbezug dieser Abschlussarbeiten auch weiterhin sichergestellt ist.

3 Forschung und Entwicklung

Forschungsförderung an Fachhochschulen durch öffentliche Mittelgeber leidet immer noch unter der mangelhaften Grundausstattung dieser Hochschulen im personellen und infrastrukturellen Bereich sowie unter einer

seit der Gründung der Fachhochschulen unveränderten Lehrverpflichtung, welche den vielfältig veränderten Aufgaben der Professorinnen und Professoren nicht mehr gerecht wird. Eine Antragstellung bei der Deutschen Forschungsgemeinschaft ist daher nur in sehr seltenen Ausnahmefällen erfolgreich und wird demzufolge aus Fachhochschulen nur in Ausnahmefällen versucht. Für Fachhochschulen spezifische Förderprogramme wie das Programm FH³ – Angewandte Forschung und Entwicklung für die Wirtschaft des BMBF sind mit geringen Fördersummen ausgestattet (hier: ca. 16 Mio € im Jahr 2004) und daher wenig geeignet, nachhaltige Effekte bei der Installation einer Forschungsumgebung zu erzielen.

Die Forschungs- und Entwicklungsprojekte des IAPG wurden wesentlich durch die Arbeitsgruppe Innovative Projekte AGIP beim Ministerium für Wissenschaft und Kultur des Landes Niedersachsen ermöglicht, welche seit 1991 als Instrument für die praxisbezogene Forschungs- und Entwicklungsförderung der Fachhochschulen alle besonderen Förderungsinstrumente zusammenfasst. Es sind dies die Förderung von Einzelprojekten in Kooperation mit Partnern aus der Wirtschaft, öffentlichen Einrichtungen oder Verbänden mit Mitteln des Landes, die Förderung von Einzelprojekten aus dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung EFRE sowie die Förderung von Forschungsschwerpunkten an den niedersächsischen Fachhochschulen.

3.1 Forschungsschwerpunkte

Forschungsschwerpunkte sind die „Sonderforschungsbereiche“ der niedersächsischen Fachhochschulen. Sie werden gefördert durch die Volkswagen-Stiftung mit einem Volumen von derzeit ca. 800.000 € und haben eine Laufzeit von 5 Jahren. Das IAPG hat innerhalb der Fachhochschule Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelmshaven mehrfach gemeinsam mit anderen Instituten vorwiegend interdisziplinäre Projekte und häufig mit deutlichem Anteil an Geoinformatik realisiert.

3.1.1 Forschungsschwerpunkt Raum–Rohr–Boden

Eines der Teilprojekte des Forschungsschwerpunktes *Raum–Rohr–Boden*, welcher von 1997 bis 2002 in Kooperation mit dem Fachgebiet Bauingenieurwesen bearbeitet wurde, behandelte das Thema *Erweiterung der Einsatzmöglichkeiten von GIS durch integrierte Echtzeitpositionierung*. Hier wurden für die Dokumentation und Verwaltung der Betriebsmitteldaten von Versorgungsunternehmen Geographische Informationssysteme eingesetzt und weiter entwickelt, um eine integrierte Speicherung und Verarbeitung von Raster-, Vektor- und Sachdaten zu ermöglichen (LUHMANN 2002).

Umfangreiche Werkzeuge zur Erfassung, Verwaltung, Analyse und Präsentation dieser Daten werden von modernen GIS als Basissoftware zur Verfügung gestellt und erlauben eine vielfältige Nutzung insbesondere bei raumbezogenen Problemstellungen. Die Positionsbestimmung mit dem Global Positioning System GPS im differentiellen Modus DGPS erlaubt die Bestimmung von Koordinatendifferenzen zu Referenzstationen mit einer Genauigkeit von wenigen Zentimetern in Echtzeit. Hierdurch wird der Einsatz von GPS für die Datenerfassung mittels Geographischen Informationssystemen im Einsatzbereich von Versorgungsunternehmen, in denen eine solche Genauigkeit benötigt wird, ermöglicht. Leistungsfähige mobile Computer ermöglichen den Einsatz von komplexen GIS auch direkt vor Ort und erschließen durch die Integration einer GPS-Echtzeitpositionierung ständig neue Einsatzmöglichkeiten. Die Verfügbarkeit und der systematische Zugriff auf alle planungsrelevanten Daten erleichtern die Übertragung von Projektierungen in die Örtlichkeit und erlauben schon dort eine direkte Kontrolle dieser Daten.

Durch die Entwicklungen in diesem Teilprojekt des Forschungsschwerpunktes wurden weitere Anwendungsmöglichkeiten für mobile GIS-Anwendungen eröffnet. Beispielsweise sind im Rohrleitungsbau beim Einsatz von modernen Maschinen zur grabenlosen Verlegung nicht nur die Echtzeit-

Datenerfassung, sondern auch die Maschinensteuerung entlang einer Trasse oder die Ausgabe von Warnmeldungen bei Annäherung an andere Leitungen gefragt.

3.1.2 Forschungsschwerpunkt Biologische Bodensanierung

Im Forschungsschwerpunkt *Biologische Bodensanierung* werden seit 2002 aufbauend auf den Erkenntnissen des FSP *Raum-Rohr-Boden neue Anwendungen für mobile Geoinformationssysteme* im Umweltbereich entwickelt. In dieser Kooperation mit dem Emdener Umwelttechnik Institut EUTEC liegt ein besonderes Augenmerk auf der hoch spezialisierten Sensorik und deren Integration in ein mobiles GIS (Abb. 3).

In einem zweiten Teilprojekt der Geoinformatik werden umfangreiche, auf den Boden bezogene Informationen mit der chemischen Analytik von Indikatorpflanzen und deren hyperspektralen Reflektionsdaten korreliert, um Kontaminationen im Boden – insbesondere mit Schwermetallen – und den Sanierungsfortschritt durch Sammlerpflanzen zu überwachen und zu dokumentieren (FISLER & WEISENSEE 2005). Somit steht ein zuverlässiges und kostengünstiges Verfahren zur Verfügung, welches das Screening von Sammlerpflanzen, die Mobilisierung von pflanzenverfügbaren Schwermetallen im Boden und die räumliche Variabilität von Kontaminationen für Untersuchungsmethoden von Biologen und zahlreiche andere Fachdisziplinen bereitstellt.



Abb. 3: Mobiles Umwelt-GIS mit Positionsbestimmung per DGPS und Hyperspektralsensor, Spracheingabe und Fotodokumentation.

3.1.3 Forschungsschwerpunkt Feinstaub

Im Forschungsschwerpunkt *Detailuntersuchungen zu Kfz-emittierten Metallfraktionen im Feinstaub – Detektion, räumliche Ausbreitung, Analyse und ökotoxikologische Auswirkungen in urbanen Gebieten*, dessen Laufzeit von 2007 bis 2011 vorgesehen ist, sollen die voranstehend beschriebenen Entwicklungen wiederum eine Fortsetzung finden und durch Ausbreitungsmodelle für Feinstaub in der Atmosphäre eine weitere Anwendung für 3D-Stadtmodelle erschließen. Als interdisziplinäres Projekt angelegt, sollen im Teilprojekt Geoinformatik Ausbreitungsmodelle nach VDI-Richtlinie 3945 Blatt 3 gemäß TA Luft (AUSTAL, vgl. BMU 2002) auf der Grundlage amtlicher Geobasisdaten implementiert und mit mobilen Systemen vor Ort überprüft werden.

3.2 AGIP-Einzelprojekte

Einzelprojekte der Arbeitsgruppe Innovative Projekte haben in der Regel eine Laufzeit von bis zu 2 Jahren und eine Fördersumme von ca. 100.000 €. Voraussetzung für die Förderung ist ein kooperatives Forschungsprojekt mit einem externen Partner aus Wirtschaft bzw. Verwaltung und eine Co-Finanzierung des Projekts durch den Kooperationspartner. Im IAPG wurden und werden neben den nachfolgend beschriebenen Einzelprojekten zahlreiche weitere Projekte mit Geoinformatikanteilen in Entwicklung (SVG-Viewer für mobile Endgeräte, BRINKOFF & WEITKÄMPER 2005) und Anwendung (Hyperspektrale Untersuchung von Deponiesickerwasser (FISLER et al. 2005) bearbeitet.

3.2.1 AGIP-Projekt: Entwicklung von Zuordnungsverfahren zwischen Vektor- und Rasterkarten

Im Projekt *Entwicklung von Zuordnungsverfahren zwischen Vektor- und Rasterkarten* wurden in Zusammenarbeit mit der BTC, Oldenburg und der GRIT GmbH, Werne, allgemeine Methoden und praxisreife Ver-

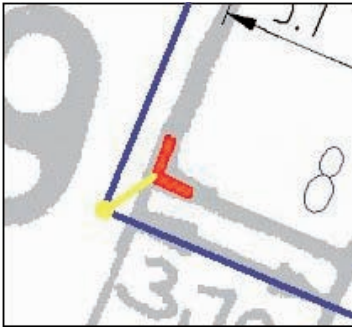


Abb. 4: Verbesserungsvektoren zur Kartenhomogenisierung.

fahren zur Unterstützung der Homogenisierung von Karten bzw. Datenbeständen unterschiedlicher Herkunft und Entstehung entwickelt.

Die Entwicklungen wurden erforderlich wegen der durch ihre Entstehungsgeschichte sehr unterschiedlichen Genauigkeiten amtlicher Basiskarten. Als Folge davon traten Genauigkeitsprobleme bei der Leitungsdokumentation auf, insbesondere, wenn Leitungen sehr großräumig verlegt und dokumentiert wurden. Bei der Arbeit mit analogen Karten waren diese Probleme kaum erkennbar, bei digitaler Arbeitsweise und bei der Nutzung hochpräziser Messmethoden traten sie jedoch deutlich zu Tage. Da die amtlichen Daten ständig verbessert und aktualisiert werden, bietet es sich an, alle Folgekarten auf diese Basisgeometrie aufzusetzen.

Zu diesem Zweck wurden im Projekt Algorithmen entwickelt, welche automatisch eindeutige Merkmale in Karten finden und daraus die Verbesserungsvektoren der Objekte berechnen und speichern. Diese Vektoren stellen dann das Maß der Verschiebung zwischen beiden Karten dar und können in Verbindung mit Homogenisierungsprogrammen die Karten zusammenführen und auch geometrisch verbessern.

3.2.2 AGIP-Projekt: Digital Elevation Data Analysis

Digitale Geländemodelle DGM repräsentieren das Relief der Erdoberfläche und dienen zahlreichen Anwendungen als Grundlage. Neben klassischen Anwendungen wie Trassenplanungen werden DGM für hochaktuelle Simulationen wie z. B. Überflutungs- oder Erosionsszenarien, für Flächen- und Volumenanalysen wie z. B. Beurteilung von landwirtschaftlich genutzten Flächen oder Wind- und Strömungsanalysen verwendet.

Wirtschaftliche Aufnahmeverfahren setzen luftgestützte Datenerfassung voraus. Neben der Photogrammetrie und der Radaraltimetrie hat sich hier das Laserscanning etabliert. Ergebnis einer Scanneraufnahme sind 3D-Punkte, die sowohl auf der Erdoberfläche als auch auf Vegetation, Bauwerken usw. liegen können. Um Aussagen über die Geländestruktur zu erhalten, sind lediglich die Punkte auf der Erdoberfläche von Bedeutung. Sämtliche anderen Stör-

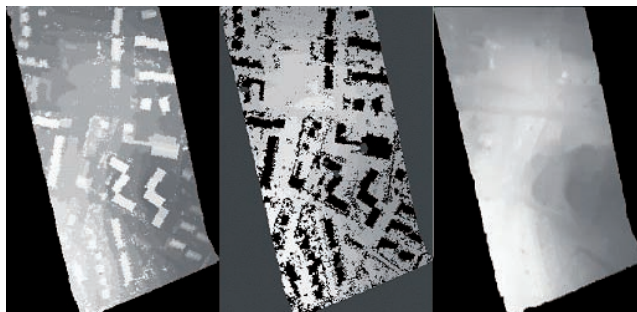


Abb. 5: links: Laserbild, Mitte: Eliminierung der Störobjekte, rechts: Interpolation von Lücken, grauwerte nach Punkthöhe. Das Laserbild des leicht bebauten Testgebietes weist in den hellen Bereichen Gebäude auf, welche nach der automatischen Filterung eliminiert werden.

punkte sind somit aus dem Datensatz zu eliminieren.

Der Schwerpunkt der Entwicklungen im Projekt, welches in Kooperation mit der Aerobotics GmbH, Bremen, durchgeführt wurde, lag in der weitgehend automatischen Eliminierung dieser Störpunkte mittels Rasterdatenverarbeitung. Dabei zeigten sich lokal anpassende Filter hinsichtlich Geländestruktur und Nutzungsart als optimal.

4 Resümee und Ausblick

Die Entwicklung der Fachrichtung Geoinformatik im Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik ist maßgeblich geprägt durch enge Kooperationen der Lehrenden mit Wirtschaftsunternehmen und Verwaltungen sowie die interdisziplinäre Zusammenarbeit mit zahlreichen Hochschulen und Forschungseinrichtungen. Die starke Einbeziehung der Studierenden in diese Kooperationen und insbesondere in die voranstehend dargestellten Projekte auch durch institutsinterne Praxissemester sowie Studien- und Diplomarbeiten hat in Verbindung mit einer kontinuierlichen Aktualisierung des Curriculums dazu beigetragen, den dramatischen Veränderungen der Berufe im Geoinformationswesen innerhalb der Hochschule Rechnung zu tragen.

Das Institut hat sich ebenso als Partner für Wirtschaft und Verwaltung bei Forschungs- und Entwicklungsprojekten etabliert. Veränderte Strategien in der Forschungsförderung werden zukünftig eine noch stärkere Vernetzung der Forschungseinrichtungen bei der Beantragung und Bearbeitung von Projekten erforderlich machen. Weitere Veränderungen der Hochschullandschaft stehen mit der Einführung der Bachelor- und Masterstudiengänge im Rahmen des Bologna-Prozesses bevor. Die Einführung von Studiengebühren wird als zusätzlicher Faktor den Wettbewerb der Hochschulen um Studierende beeinflussen.

Literatur

- BRINKHOFF, T. & WEITKÄMPER, J., 2005: Mobile Viewers based on SVG^{±Geo} and XformsGI. – 8th AGILE Conference on Geographic Information Science.
- BMU (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit), 2004: Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft. – TA Luft vom 24. Juli 2002).
- FISLER, A., LORKOWSKI, P. & WEISENSEE, M., 2005: Konzept für den Einsatz von Hyperspektralsensoren zur Überwachung von Deponiesickerwasser. – GI-Tage, Münster.
- FISLER, A. & WEISENSEE, M., 2005: Geoanalyse von Schwermetalluntersuchungen in einem Versuchsfeld zur Beurteilung von in-situ Sanierungsmethoden. – DGPF, Rostock.
- LUHMANN, T. (Hrsg.), 2002: Raum-Rohr-Boden – Messverfahren zur Qualitätssicherung im Rohrleitungsbau. – Abschlussbericht, Angewandte Forschung Weser-Ems, Fachhochschule Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelmshaven, Bericht 1/2002, ISSN 1610–5206, 122 Seiten.
- RABE, A., 1997: Zur Notwendigkeit der Einrichtung eines Studiengangs „Geoinformatik“. – In: 50 Jahre Fachbereich Vermessungswesen. – Oldenburg.
- WEBER, H., 2006: Einführung von Bachelor- und Masterstudiengängen an der FH Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelmshaven zum Wintersemester 2005/2006. – 2. GIS-Ausbildungstagung, Potsdam.

Anschrift der Autoren:

Prof. Dr.-Ing. HELMUT KUHN
Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik
FH Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelmshaven
Ofener Str. 16, D-26121 Oldenburg
Tel.: 0441-7708-3168, Fax: 0441-7708-31 70,
e-mail: kuhn@fh-oldenburg.de

Prof. Dr.-Ing. MANFRED WEISENSEE
Tel.: 0441-7708-3101, Fax: 0441-7708-3198,
e-mail: weissenese@fh-oow.de

Manuskript eingereicht: Juni 2006
Angenommen: Juni 2006

Konzeption, Entwicklung und Einsatz von e-Learning-Modulen in der Geoinformatik

ANTJE KRÜGER & THOMAS BRINKHOFF, Oldenburg

Keywords: Geoinformatics, e-learning, blended learning

Summary: *Conception, Development and Deployment of e-learning Modules in Geoinformatics.* Computer-aided learning, also known as e-learning, becomes more and more important. With advantages like flexibility in time and space, e-learning is an indispensable aid to support the process of life-long learning. Universities have also discovered the advantages of e-learning and started many promising initiatives. This paper treats the conception, development and use of e-learning modules in geoinformatics. The so-called blending learning is its main focus. Especially, elements are presented that increase the interactivity of the learning materials.

Zusammenfassung: Computergestütztes Lernen, auch e-Learning genannt, spielt eine immer bedeutendere Rolle. Mit Vorteilen wie zeitlicher und räumlicher Flexibilität beim Lernen ist e-Learning mittlerweile ein wesentliches Hilfsmittel auf dem Weg zum lebenslangen Lernen geworden. Auch Hochschulen haben die Vorteile des e-Learnings erkannt und entsprechende Projekte ins Leben gerufen. Dieser Beitrag behandelt die Konzeption, die Entwicklung und den Einsatz von e-Learning-Modulen in der Geoinformatik. Dabei steht das so genannte Blended Learning im Vordergrund. Es werden insbesondere Elemente vorgestellt, die die Interaktivität der Lehrmaterialien steigern sollen.

1 Einführung

Seit einigen Jahren ist *e-Learning* in aller Munde und wurde eine zeitlang als Revolution im Bereich Aus- und Weiterbildung, aber auch im universitären und schulischen Umfeld gefeiert. Nach einer sich – unausweichlich – anschließenden Ernüchterungsphase kann man nun feststellen, dass e-Learning durchaus lernfördernd und motivierend sein kann, jedoch insbesondere in Verbindung mit Präsenzphasen seine positive Wirkung gut entfaltet (GOWALLA 2005). Diese Kombination aus selbstständigem und von Lehrkräften geführtem Lernen wird *Blended Learning* genannt: „Blended Learning Systems combine face-to-face instruction with computer mediated instruction.“ (GRAHAM 2006).

Auch das Projekt „Fernstudienmaterialien Geoinformatik“ (FerGI) folgt diesem Ansatz. In dem vorliegenden Beitrag sollen

die Aktivitäten an der FH in Oldenburg im Rahmen des FerGI-Projektes vorgestellt werden. Dabei wird auf Konzeption, Entwicklung und Einsatz von e-Learning-Modulen eingegangen. Den Schlusspunkt bildet die Darstellung von Zukunftsstrategien.

2 FerGI

Das Projekt FerGI begann im Oktober 2003 und wird voraussichtlich Ende 2006 abgeschlossen werden. Innerhalb dieses Zeitrahmens wurden 22 e-Learning-Module entwickelt. Ziel von FerGI ist es nicht, das gesamte GIS-Curriculum abzudecken. Stattdessen sollen aktuelle Themen der Geoinformatik und Fernerkundung behandelt werden, wobei sich die Modulinhalte in deutscher und/oder englischer Sprache präsentieren.

FerGI ist ein Verbundprojekt des Kompetenzzentrums für Geoinformatik in Niedersachsen (GiN) und des e-Learning-Netz-

werks VIA Online. Dabei obliegt die Entwicklung der fachlichen Inhalte (des „Contents“) den fünf GiN-Partnern – das sind je zwei Institute der Universität Hannover und der Universität Osnabrück sowie das Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik der FH Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelmshaven am Standort Oldenburg. Die didaktische Expertise wird durch VIA-Online der Universität Hildesheim abgedeckt wird (SCHIEWE 2004a). Weitere Informationen zum Projekt sind auf der Projekt-Homepage <http://www.fergi-online.de> zu finden. Interessenten können die Module nach Anmeldung auf der Projekt-Homepage kostenlos nutzen.

Ein jedes FerGI-Modul gehört zu einer der fünf folgenden Kategorien:

- Datenerfassung,
- Datenverwaltung,
- Datenanalyse,
- Datenpräsentation,
- GI-Anwendungen.

In Oldenburg werden fünf Module erstellt:

- Geodatenstandards,
- Objektrelationale Datenbanksysteme,
- Geodatenbanksysteme,
- Geodatendienste und
- Farb-Management.

3 Konzeption und Entwicklung

Der Erfolg von e-Learning hängt insbesondere von einer sorgfältigen und konsistenten Konzeption ab (KERRES 1998). Dabei sollten Fragen nach dem didaktischen und technischen Aufbau der Module möglichst frühzeitig beantwortet werden, da eine nachträgliche Änderung des Konzeptes mit großem zeitlichem (und damit finanziellem) Aufwand verbunden ist. Allerdings kann man auch bei der Entwicklung von e-Learning-Modulen die Beobachtung machen, dass nicht alle Vorüberlegungen der Praxis standhalten und somit nachträgliche Veränderungen unausweichlich sind. Auch ist es zweckmäßig, die Erfahrungen von anderen, bereits abgeschlossenen e-Learning-Projekten zu berücksichtigen. Im Fall von FerGI sind

dies insbesondere die e-Learning-Projekte im Bereich der Geoinformatik wie [geoinformation.net](http://www.geoinformation.net), [gimolus](http://www.gimolus.de), [WEBGEO](http://www.webgeo.de) und [GIT-TA](http://www.git-ta.de) (siehe z. B. SCHIEWE 2004b und KÖNIG & SCHIEWE 2006).

3.1 Projektziele und Zielgruppe

Konzeptionelle Überlegungen beginnen in der Regel mit der Definition von Projektzielen sowie der Analyse der Zielgruppe. Ein wesentliches *Projektziel* von FerGI war von Anfang an – trotz des in dieser Hinsicht etwas irreführenden Namens – die Unterstützung des *Blended Learnings*. Diese Zielsetzung ermöglicht es, den Overhead im Bereich der Lernumgebung klein zu halten, da meist ein regelmäßiger Kontakt sowohl zwischen Lehrenden und Lernenden als auch zwischen den Lernenden untereinander vorhanden ist. Nichtsdestotrotz entsteht auch in diesem Fall ein nicht zu unterschätzender technischer Aufwand.

Ein weiteres Projektziel war die Abdeckung *aktueller Themen* der Geoinformatik und der Fernerkundung; ein Blick auf die Themen der bisher entwickelten Module erlaubt die Einschätzung, dass dieses Projektziel erreicht wurde. Zudem sollten kleine *kompakte Einheiten* innerhalb eines Moduls aufgebaut werden, wodurch die Austauschbarkeit von Modulinhalt und die Wiederverwendbarkeit im Allgemeinen sichergestellt werden soll, um die Nachhaltigkeit und die Wirtschaftlichkeit zu fördern. Ob dieses Ziel erreicht wurde (bzw. erreichbar ist), muss die Phase nach der Projektförderung zeigen.

Die *Zielgruppe* von FerGI ist eher inhomogen, da sie sich aus Studenten unterschiedlicher raumbezogener Studiengänge, aber auch aus Teilnehmern an Weiterbildungsmaßnahmen zusammensetzt. Beim Einsatz der Module für die letztgenannte Gruppe erfolgt zu Beginn des Kurses eine Einführungsveranstaltung, in der sich die Teilnehmer untereinander kennen lernen können. Dann startet die Selbstlernphase, ggf. unterbrochen von einem Zwischentreffen, und schließlich endet das Modul mit einem Abschlusstreffen. Bei Hochschulstu-

denen hingegen wird ein schnellerer Wechsel zwischen Selbstlernphasen und Treffen verfolgt – in den letzten Semestern an der FH in Oldenburg typischerweise im Wochen- oder Zweiwochenrhythmus.

3.2 Lernumgebungen

Die FerGI-Module sind, wie in Abb. 1 dargestellt, zunächst als *reine HTML-Version* „standalone“ in gängigen Web-Browsern verwendbar.

Zudem besteht die Möglichkeit, FerGI-Module in bestehende *Lernumgebungen* zu integrieren. Dies wurde bislang für verschiedene Lernplattformen erfolgreich getestet, wobei als Standardplattform *Moodle* dient. Moodle ist ein freies Content Management System (CMS), dessen Schwerpunkt die Bereitstellung von Lehrmaterialien darstellt (<http://moodle.org/>). Abb. 2 zeigt die Inhaltsübersicht des Moduls „Objektrelationale Datenbanksysteme“ innerhalb von Moodle.

3.3 Interaktion

Je größer der Anteil des Selbststudiums bei der Bearbeitung eines e-Learning-Moduls ist, umso wichtiger wird die Integration von

interaktiven Elementen in die virtuelle Lernumgebung. Interaktivität (insbesondere wenn sie vom Lernenden gesteuert werden kann) stellt im Vergleich zu herkömmlichen Lernmaterialien wie beispielsweise Büchern und Skripten einen sehr großen Vorteil dar und kann die Lernmotivation immens fördern. Aus diesem Grund wurden für komplexe Lerninhalte interaktive *Flash- oder SVG-Animationen* entwickelt. Abb. 3 zeigt eine Flash-Animation, die dynamisch die Schritte zur Herleitung der z-Ordnung für räumliche Indexe visualisiert.

Andere Lerninhalte machen einen größeren Freiheitsgrad der Interaktion notwendig. Hierfür wurden verschiedene *Java-Applets* entwickelt. In Abb. 4 werden z. B. für Geometrien mehrelementige Approximationen berechnet und visualisiert, wie sie im Rahmen der mehrstufigen Anfragebearbeitung in Geodatenbanksystemen Anwendung finden.

Im Rahmen des Moduls „Geodatendienste“ kann der Lernende Dienste wie den Web Map Service (WMS) und den Web Feature Service (WFS) erproben. Während für den WMS die Anfrage in ein HTML-Formular eingegeben werden kann und der Web-Browser das Ergebnis direkt visualisiert (Abb. 5), ist der technische Aufwand für die

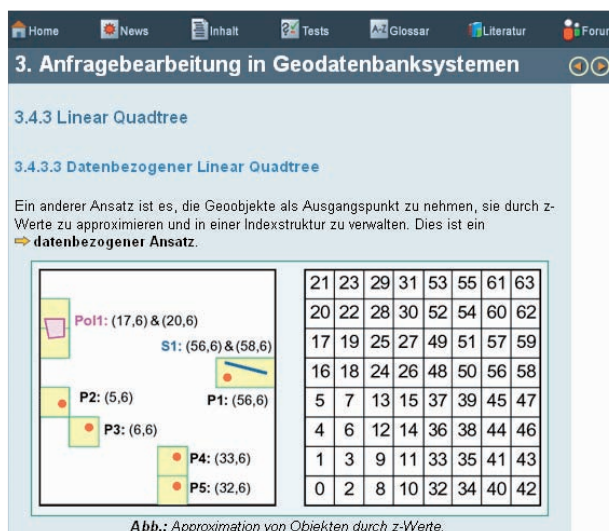


Abb. 1: Reine HTML-Version eines Moduls.



Abb. 2: Die Lernumgebung Moodle.

Integration des WFS höher: Hier werden vom Benutzer die Anfragen in XML formuliert, vom Java-Applet mittels des HTTP-POST-Protokolls an den für die Lehrveranstaltung aufgesetzten WFS übermittelt und das XML-Resultat visualisiert (Abb. 6).

Es sei hier angemerkt, dass die Entwicklung solcher Elemente sehr zeitintensiv ist und daher nur dann verfolgt werden sollte,

wenn ein deutlicher Vorteil im Vergleich zu einer einfachen bildlichen Darstellung entsteht. Auch gibt es hier einen gewissen Widerspruch zur Zielsetzung von FerGI, aktuelle Inhalte widerzuspiegeln. Diese sind – naturgemäß – einem schnellen Wandel unterworfen. Als Beispiel sei hier die Geography Markup Language genannt, die im Modul „Geodatenstandards“ behandelt wird.

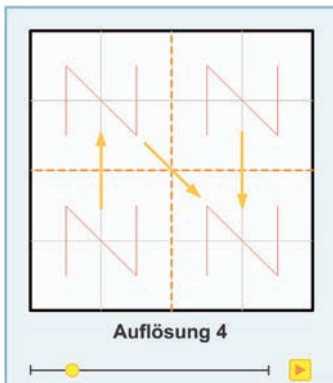


Abb. 3: Beispiel für eine Flash-Animation.

Mit dem Übergang von GML 2.12 auf GML 3.0 und der weiteren Version 3.1 waren jeweils erhebliche Änderungen verbunden, die auch in den Lernunterlagen nachvollzogen werden müssen.

3.4 Kommunikation

Lernen ist immer auch ein sozialer Prozess, welcher Kommunikation zwischen der Lernakteuren verlangt. Daher müssen in virtuellen Lernwelten Kommunikationsmodelle geschaffen werden, die es ermöglichen, isoliertes Lernen zu unterbinden und gleichzeitig die soziale Dynamik von Präsenzveranstaltungen mit ihren kurzen Feedbackzeiten zu simulieren. Dieser Aspekt ist

von großer Bedeutung für den Erfolg von e-Learning, nimmt allerdings auch sehr viel Zeit in Anspruch (STROBL 2004). Um dieses Ziel zu erreichen, integriert FerGI Foren zum Austausch von Meinungen, Fragen und Anregungen in die Module. Zur Aktivierung solcher Prozesse sollen die Antworten von Zwischenfragen in solchen Foren diskutiert werden.

3.5 Tests und Übungen

Lebenslanges Lernen erfordert einen häufigen Wechsel zwischen dem Sammeln neuer Kenntnisse und der problembezogenen Anwendung des neu gewonnenen Wissens (STROBL 2004). Dies setzt eine sehr enge Verknüpfung der Theorie mit den Möglichkeiten der Überprüfung des Lernfortschritts voraus. Dazu dienen in FerGI Tests und praktischen Übungen.

FerGI-Module enthalten *Testaufgaben*. Dabei handelt es sich um Single- oder Multiple-Choice-Fragen oder um Zuordnungs- oder Lückentextaufgaben (siehe Abb. 7). Diese Aufgaben werden mit dem Werkzeug „Hot Potatoes“ (<http://hotpot.uvic.ca>) erstellt und bei Bedarf in die Lernplattform Moodle integriert. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass die Entwicklung geeigneter Testaufgaben eine unterschätzte, recht zeitaufwändige, mehrere Iterationen benötigende Aufgabe darstellt.

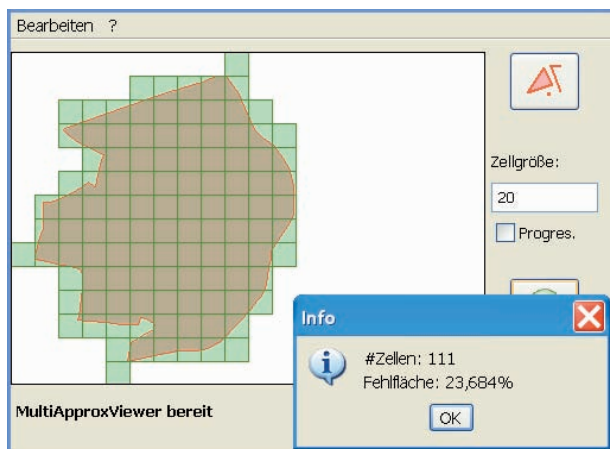


Abb. 4: Java-Applet zur Visualisierung mehrelementiger Approximationen.

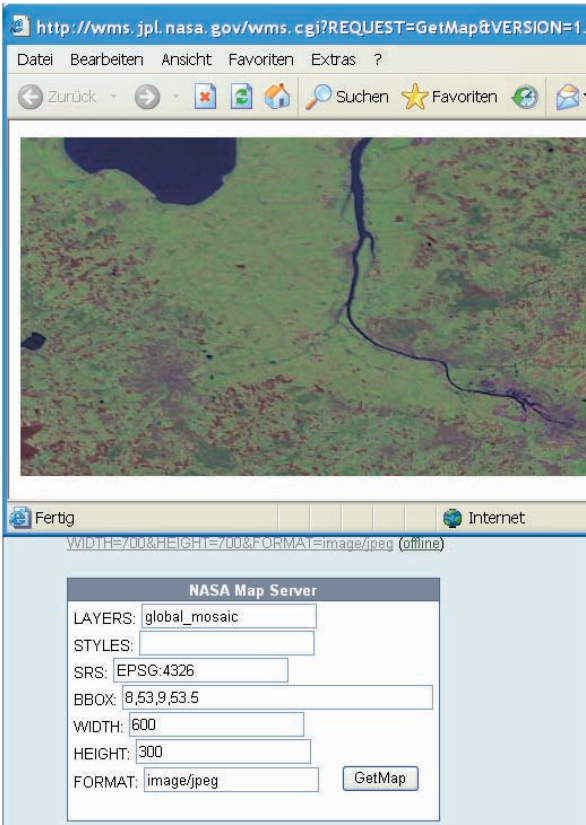


Abb. 5: WMS-Aufruf mit Resultat.



Abb. 6: WFS-Aufruf mit Resultat.

Kap. 1 - Frage 03

Zuordnung Grafiken zu topologischen Eigenschaften

Ordnen Sie die folgenden Grafiken der jeweiligen topologischen Eigenschaft zu.

Prüfen

The diagrams show the following relationships:

- Diagram 1: B is inside A.
- Diagram 2: B is outside A.
- Diagram 3: A overlaps B.
- Diagram 4: A touches B.
- Diagram 5: A contains B.

The options are:

- B innerhalb A
- B außerhalb A
- A überlappt B
- A berührt B
- A umfasst B

Abb. 7: Eine Zuordnungsaufgabe.

Auch für Übungszwecke müssen im Rahmen von e-Learning-Modulen Werkzeuge entwickelt und bereitgestellt werden. Ein Beispiel hierfür ist der „Spatial Database Viewer“, der es den Lernenden erlaubt, SQL-Anfragen auf objektrelationale und Geodatenbanken zu stellen und die Resultate adäquat zu visualisieren. Weiterer Einzelheiten hierzu finden sich in BRINKHOFF 2005 und KRÜGER & BRINKHOFF 2005.

4 Einsatz

FerGI-Module werden in den Studiengängen Geoinformatik und Angewandte Geodäsie in Oldenburg seit dem Sommersemester 2004 eingesetzt. Dabei wurde deutlich, dass die Qualitätsanforderungen an e-Learning-Unterlagen deutlich höher sind als für Materialien in Präsenzveranstaltungen. Fehler oder nicht nachvollzogene Aktualisierungen, können hier nicht durch die Flexibilität und die Spontaneität von Lehrpersonen ausgeglichen werden. Auch stellen sich technische und rechtliche Fragen, die in reinen In-Haus-Veranstaltungen nicht auftreten, z. B. die Zugänglichkeit der Datenbank- oder Geodaten-Server trotz Firewalls oder der Schutz von Online-Handbüchern oder -Artikeln vor unberechtigtem Zugriff.

Um eine nachhaltige und qualitativ hochwertige Modulentwicklung sicherzustellen, werden Evaluationen der fertigen Module durchgeführt. Fragebögen für Studenten und Lehrende, aber auch für Studiendekane wurden angefertigt. Die Ergebnisse dieser Bewertungen ergaben, dass ein Großteil der Befragten Blended Learning gegenüber einem reinen Selbstlernansatz deutlich bevorzugt. Interaktive Elemente, aber auch (mehr) Tests wurden gewünscht. Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die aktive Begleitung der Fragen und Diskussionen in den zugeordneten Foren.

5 Zukunftsstrategien

Ein potenzielles Geschäftsmodell für FerGI ist, die Module weiterhin kostenlos anzubieten, aber für Zusatzdienste wie die Betreuung der Lernenden, die Neuentwicklung von Lernunterlagen oder die Übersetzung in andere Sprachen Gebühren zu erheben, um so eine Weiterführung der Aktivitäten und Entwicklung im e-Learning nach Ende der Finanzierungsphase durch Projektmittel zu gewährleisten (SCHIEWE 2006, KRÜGER et al. 2006).

Zudem besteht die Absicht, FerGI-Module künftig stärker in Fortbildungsangebo-

te zu integrieren. An der FH in Oldenburg sollen dazu die datenbankbezogenen Lernmodule im Rahmen des ESF-Projektes „zielgruppenorientierte Weiterbildung in der Geoinformatik“ genutzt werden.

Literatur

- BRINKHOFF, T., 2005: Die Entwicklung eines visuellen SQL-Werkzeugs für Oracle Spatial. – Vortragsband 18. DOAG-Konferenz, Mannheim: 179–184.
- GOWALLA, U., 2005: Erfolgsversprechende Einsatzszenarien für Mehrwert stiftende E-Learning Anwendungen. – Materialien 1. GIS-Ausbildungstagung, Potsdam.
- GRAHAM, C. R., 2006: Blended Learning Systems: Definition, Current Trends, and Future Directions. – In: BONK, C. J. & GRAHAM, C. R. (eds.): Handbook of Blended Learning: Global Perspectives, Local Designs. – 704 S., John Wiley and Sons, Chichester.
- KERRES, K., 1998: Multimediale und telemediale Lernumgebungen – Konzeption und Entwicklung. – 410 S., Oldenbourg Verlag, München.
- KÖNIG, G. & SCHIEWE, J., 2006: E-Learning Courses for GIS and Remote Sensing in Germany: Status and Perspectives. – Proceedings ISPRS-Symposium Commission VI, Tokyo.
- KRÜGER, A. & BRINKHOFF, T., 2005: Spatial Data Management – Development of e-Learning Modules. – Proceedings 8th AGILE Conference on Geographic Information Science, Estoril, Portugal: 207–214.
- KRÜGER, A., BRINKHOFF, T. & GRENDEUS, B., 2005: Towards a Sustainable E-Learning Solution for GI-Education. – Proceedings ISPRS-Symposium Commission VI, Tokyo.
- SCHIEWE, J., 2004a: Fernstudienmaterialien Geoinformatik (FerGI)-Konzeption und erste Erfahrungen. – In: SCHIEWE 2004b: S. 41–51.
- SCHIEWE, J. (Hrsg.), 2004b: E-Learning in Geoinformatik und Fernerkundung. – 190 S., Wichmann Verlag, Heidelberg.
- SCHIEWE, J., 2006: Verwertungsmodelle für E-Learning-Materialien zur Geoinformatik. – Materialien 2. GIS-Ausbildungstagung, Potsdam.
- STROBL, J., 2004: Erfolgsfaktoren für e-Learning – Lebenslanges Lernen mit Online-Medien. – In: SCHIEWE 2004b: S. 3–10.

Anschrift der Autoren:

Dipl.-Ing. ANTJE KRÜGER
e-mail: krueger.antje@web.de

Prof. Dr. THOMAS BRINKHOFF
e-mail: thomas.brinkhoff@fh-oldenburg.de

Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik (IAPG)
FH Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelmshaven
Ofener Str. 16, D-26121 Oldenburg

Manuskript eingereicht: Mai 2006
Angenommen: Juni 2006

Geodatenbanksysteme: Gestern, Heute und Morgen

THOMAS BRINKHOFF, Oldenburg

Keywords: Geoinformatics, spatial database systems, data models, standardisation, query processing, GIS

Summary: *Spatial Database Systems: Past, Present and Future.* During the last decades, spatial database systems have been transformed from a research field known only by few specialists into real-existing commercial systems that form an essential component for building open and interoperable geospatial information infrastructures. In this paper, the essential steps of this progress and the current state-of-the-art are presented. Furthermore, future trends are discussed that are expected to dominate the development in the next years in this field.

Zusammenfassung: In den letzten Jahrzehnten haben sich Geodatenbanksysteme von einem Forschungsgebiet weniger Spezialisten zu real existierenden, kommerziell erhältlichen Systemen entwickelt, die einen essenziellen Baustein offener, interoperabler GI-Infrastrukturen bilden. In diesem Beitrag werden die wesentlichen Stationen dieser Entwicklung und der heute erreichte Stand in Wissenschaft und Technik dargestellt. Zudem wird auf die Trends eingegangen, die in den nächsten Jahren diesen Themenbereich voraussichtlich bestimmen werden.

1 Einführung

Mit der zunehmenden Nutzung von Geodaten zu kommerziellen, hoheitlichen, wissenschaftlichen und privaten Zwecken steigt auch der Bedarf, raumbezogene Informationen geeignet zu verwalten. Dies ist in erster Linie Aufgabe von *Geoinformationssystemen (GIS)*. Eine wesentliche Teilaufgabe stellt dabei die Speicherung und Abfrage von Geodaten in bzw. aus *Geodatenbanken* dar. Während in der Vergangenheit Geoinformationssysteme die Geodatenbanken eigenständig verwaltet haben, wird diese Aufgabe mehr und mehr separaten Systemen, den *Geodatenbanksystemen* übertragen. Damit erfolgt ein Übergang von proprietären Lösungen zu offenen GI-Infrastrukturen.

In den letzten Jahrzehnten haben sich Geodatenbanksysteme von einem interessanten Forschungsfeld zu real existierenden, kommerziell erhältlichen Systemen entwickelt. Dass dieser Prozess inzwischen weit vorangeschritten ist, wird auch durch die in

den letzten Jahren zu diesem Themengebiet entstandenen Lehrbücher von RIGAUX et al. (2002) und BRINKHOFF (2005) verdeutlicht.

Der vorliegende Artikel lässt die wesentlichen Stationen dieser Entwicklung Revue passieren und stellt den heute erreichten Stand in Wissenschaft und Technik dar. Auf dieser Basis soll betrachtet werden, inwiefern Geodatenbanksysteme inzwischen als ausgereifte, praxistaugliche Werkzeuge angesehen werden können und welche weiteren Entwicklungen zu erwarten sind.

2 Ausgangssituation

Als das erste GIS der Welt gilt das *Canada Geographic Information System*, welches in den 60er-Jahren in Kanada entwickelt wurde (TOMLINSON 1984). Die Entwickler von CGIS hatten eine Reihe von technischen Problemen zu meistern. So begann die Entwicklung auf einer IBM 1401 mit 16 KB Hauptspeicher, die etwa 1.000 Instruktionen pro Sekunde bewältigte. 1964 kam die IBM 360/65 zum Einsatz, die bei einem Ge-

wicht von 5 Tonnen einen maximalen Hauptspeicher von 512 KB aufwies. Als Hintergrundspeicher wurden zunächst Magnetbänder eingesetzt; Magnetplatten hatten eine viel zu geringe Speicherkapazität, um als Medium für eine Geodatenbank dienen zu können.

Diese Schilderung macht deutlich, dass die Entwicklung von Geoinformationssystemen lange Zeit nicht durch die Verwendung bereits vorhandener Komponenten und Systeme geprägt war, sondern aufgrund technischer und funktionaler Anforderungen Eigenentwicklungen forcierte. So hat auch im Bereich der Datenspeicherung eine Eigenbrötelei bei allen Geoinformationssystemen eine lange Tradition. Bis Ende der 90er-Jahre wurden noch vielfach die Daten ausschließlich in Dateien oder GIS-spezifischen Datenhaltungskomponenten gespeichert. Dies war aufgrund der Schwächen von Standarddatenbanksystemen bei der Verwaltung und Speicherung von Geodaten eine durchaus nachvollziehbare Vorgehensweise.

3 Datenmodellierung

Ein *Datenmodell* dient der einheitlichen, formalen Beschreibung von Daten und ihrer Beziehungen. Ein *Datenbankschema* ist das konkrete Datenmodell, das die für einen Anwendungsbereich relevanten Informationen in einer Datenbank beschreibt, wobei das *Datenbankmodell* die Grundsätze festlegt, wie ein Datenmodell in ein Datenbankschema umgesetzt werden kann.

3.1 Relationales Datenbankmodell

Einen entscheidenden Schritt für die heutige Datenbanktechnologie stellte die Entwicklung des *relationalen Datenbankmodells* dar. Anfang der 80er-Jahre kamen *relationale Datenbanksysteme (DBS)* wie IBM DB2, Oracle und Ingres auf den Markt. Heute beträgt der Marktanteil von (objekt-) relationalen Datenbanksystemen rund 80%. Ebenso hat sich die *Structured Query Language (SQL)* als *Datenbanksprache* allgemein durchgesetzt.

Die Nutzung relationaler Datenbanksysteme zur Verwaltung räumlicher Daten ließ – wie bereits angedeutet – auf sich warten. Kernproblem ist, dass das relationale Datenbankmodell sich auf atomare Datentypen beschränkt, aber geometrische Datenmodelle komplexe Datentypen wie Linienzüge und Multipolygone erfordern. Die Abbildung solcher Datentypen in das relationale Datenbankmodell bedarf der Verteilung der Daten auf mehrere relationale Tabellen und/oder mehrere Datensätze. Dies ist wenig performant und erschwert oder verhindert die Formulierung und Ausführung von räumlichen Anfragen.

Ein erster Ansatz, relationale Datenbanksysteme im Rahmen von Geoinformationssystemen einzusetzen, stellt die getrennte Speicherung geometrischer und alphanumerischer Attribute dar. Während die nicht-geometrischen Sachattribute in einer relationalen Datenbank gespeichert sind, werden die geometrischen Attribute in einem GIS-spezifischen Datenformat in Dateien abgelegt. Die Kopplung erfolgt meist über einen gemeinsamen Schlüssel. Gegen eine solche Lösung spricht insbesondere, dass die mit einem Einsatz eines DBS verbundenen Vorteile für die geometrischen Attribute verloren gehen. Eine Nutzung der Geodaten außerhalb des spezifischen Geoinformationssystems wird vereitelt, da das Datenformat in der Regel proprietär ist.

Ein heute noch gängiger Ansatz ist die Speicherung von Geometrien in *Binary Large Objects (BLOBs)*. Dies hat eine Reihe von Vorteilen: So kann die gesamte Geometrie in einem Attributwert zusammengefasst werden. Die integrierte Speicherung des gesamten Geoobjektes ist möglich, so dass DBS-Konzepte wie Zugriffskontrolle, gesicherter Mehrbenutzerbetrieb und Recovery auch auf die Geometrien angewendet werden können. Allerdings weist diese Lösung auch essenzielle Nachteile auf: Für das DBS ist ein BLOB eine Folge von Binärinformationen, die es nicht interpretieren kann. Da das DBS die Semantik der Binärdaten nicht kennt, können keine Mechanismen zur effizienten Anfragebearbeitung und -optimierung angewendet werden. Aus

den gleichen Gründen ist es auch nicht möglich, geometrische Operationen zu verarbeiten oder durch die Anfragesprache zu unterstützen. BLOBs sind für externe Programme nicht ohne weiteres interpretierbar; ein Anwendungsprogramm ist auf die Nutzung des GIS angewiesen oder muss entsprechend programmierte Komponenten besitzen. Dies widerspricht aber der Idee eines offenen Systems.

3.2 Objektorrelationales Datenbankmodell

In den 90er-Jahren wurde das Konzept der *Objektorientierung* in einem sehr starken Maße in den Softwareentwurf und in Programmiersprachen eingeführt. Daher lag es nahe, diese Entwicklung auch im Bereich der Datenbankmodelle zu vollziehen. Da sich allerdings die völlig neu konzipierten *objektorientierten Datenbanksysteme* nicht am Markt durchsetzen konnten, ist die Erweiterung des relationalen Datenbankmodells um objektorientierte Konzepte (*objektorrelationales Datenbankmodell*) die derzeit relevante Entwicklung. Diese Entwicklung hat auch in neueren Versionen von SQL – SQL:1999 und SQL:2003 – ihren Niederschlag gefunden.

Das objektorrelationale Datenbankmodell ist zur Speicherung von Geodaten gut geeignet: Komplexe geometrische Datentypen können benutzerseitig durch entsprechende Klassen repräsentiert werden. Auch können zur Analyse und Anfragebearbeitung benötigte geometrische Funktionen durch die Programmierung entsprechender Methoden dem DBS hinzugefügt werden.

Ein *objektorrelationales Geodatenbanksystem* stellt bereits systemseitig einen hinreichenden Satz von vordefinierten Geometrieklassen und -methoden zur Verfügung. Der Zugriff auf die Geometrieobjekte ist von allen Anwendungsprogrammen aus mit Hilfe von SQL möglich. Damit wird einer wichtigen Anforderung für offene GI-Systeme Rechnung getragen. Da einem objektorrelationalen Geodatenbanksystem die Struktur und die Bedeutung der geometrischen Datentypen bekannt sind, wird dieses Wissen

auch bei der Anfragebearbeitung berücksichtigt. Derzeit auf dem Markt erhältliche objektorrelationale Geodatenbanksysteme sind z. B. Oracle Spatial, IBM Informix mit dem Spatial DataBlade, der IBM DB2 Spatial Extender und PostgreSQL mit PostGIS.

3.3 Standardisierung

Einen wichtigen Aspekt offener interoperabler Geoinformationssysteme stellt die *Standardisierung* des verwendeten Geometrieklassenmodells dar. Hier haben das *Open Geospatial Consortium (OGC)* und die *International Organization for Standardization (ISO)* eine Reihe von Spezifikationen erarbeitet.

Grundlage der Standardisierung der Geometrieklassen ist *ISO 19107:2003 „Geographic Information – Spatial Schema“*, das ein konzeptionelles Datenmodell zur Beschreibung der räumlichen Eigenschaften von Geoobjekten beinhaltet. Es umfasst die (Vektor-) Geometrie und Topologie bis zu einer maximalen Dimension von 3 und definiert zugehörige Operationen.

Auf dieser Basis steht das *Simple Feature Model*, das durch *ISO 19125:2004* genormt ist. *Simple Features* sind Geometrien im zweidimensionalen Raum, deren Stützpunkte geradlinig miteinander verbunden sind. Während der erste Teil der Norm das Klassenmodell mit geometrischen Datentypen und zugehörigen Operationen beschreibt (vgl. Abb. 1), behandelt der zweite Teil dessen Umsetzung in ein Datenbankschema.

Der ISO/IEC-Standard 13249-3:2003 *SQL/MM Spatial* spezifiziert ebenfalls ein Geometrieklassenmodell. Dieses weist recht

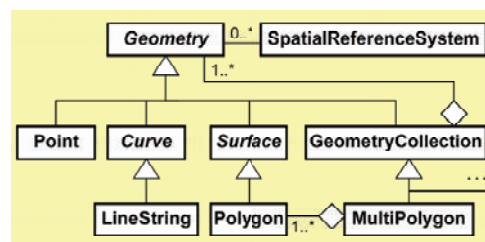


Abb. 1: Teil des Simple Feature Modells.

große Ähnlichkeiten mit dem Simple Feature Model auf. Wesentliche Erweiterungen von SQL/MM Spatial sind die Unterstützung von Kreisbögen, Methoden zum Validieren von Geometrien, Koordinatentransformationen und Methoden zur Bereitstellung von GML (Geography Markup Language).

3.4 Weitere Aspekte

Um in einem Geodatenbanksystem aus den Koordinaten korrekte Längen und Flächen berechnen zu können, ist die Zuordnung und Interpretation eines *räumlichen Bezugssystems* zu einer Geometrie erforderlich. Dementsprechend muss das DBS einen Satz von räumlichen Bezugssystemen zur Unterstützung von geographischen, projizierten und nicht georeferenzierenden Koordinaten bereitstellen. Hierbei haben sich *EPSG-Bezugssysteme* durchgesetzt, die vom „Surveying & Positioning Committee“ der „International Association of Oil & Gas Producers“ (OGP) gepflegt werden.

Lineare Bezugssysteme erlauben die Identifizierung von Punkten auf einer Linie durch Abstandsangaben zu einem ausgezeichneten Anfangspunkt. Gerade in Netzwerken – zum Beispiel in Straßennetzen oder in Ver- und Entsorgungsnetzen wie Wasser- und Kanalnetzen – haben lineare Bezugssysteme eine große Bedeutung und werden daher von gängigen Geodatenbanksystemen unterstützt.

Topologie- und Rasterdatenmodelle werden bislang von den erwähnten Standards nicht datenbankbezogen abgedeckt, so dass derzeitige Systeme hier entweder keine oder nur eine proprietäre Unterstützung anbieten. Als Beispiel sei hier Oracle Spatial 10 genannt. Oracle enthält ein *Netzwerkdatenmodell*, das u. a. Operationen zur Berechnung kürzester Wege anbietet, und ein *Topologiedatenmodell*, das die Speicherung topologischer Primitive und die Ableitung topologischer Beziehungen aus dem Datenmodell erlaubt. Das *Rasterdatenmodell* von Oracle unterstützt die Speicherung und Abfrage georeferenzierter Rasterkarten mit der Möglichkeit der Kachelung, dem Aufbau

von Bildpyramiden und der Kompression der Daten.

4 Anfragebearbeitung

Eine Hauptaufgabe eines Geodatenbanksystems ist die Bestimmung von Geoobjekten, deren Geometrie vorgegebene geometrische oder topologische Bedingungen erfüllt. Zur Bearbeitung solcher Anfragen führt das DBS die Anfrage auf eine oder eine Folge von *räumlichen Basisanfragen* zurück. Als Beispiele seien genannt:

- *Punktanfragen*, die zu einem gegebenen Anfragepunkt p alle Geoobjekte bestimmen, die p enthalten.
- *Rechteckanfragen*, die zu einem gegebenen Anfragerechteck r alle Geoobjekte bestimmen, die r schneiden.
- Der *räumliche Verbund*, der aus zwei Relationen die Paare von Geoobjekten bestimmt, die eine räumliche Verbundbedingung (z. B. ein topologisches Prädikat oder eine Abstandsbedingung) erfüllen. Dies ist Grundvoraussetzung für eine effiziente *Verschneidung* von Karten.

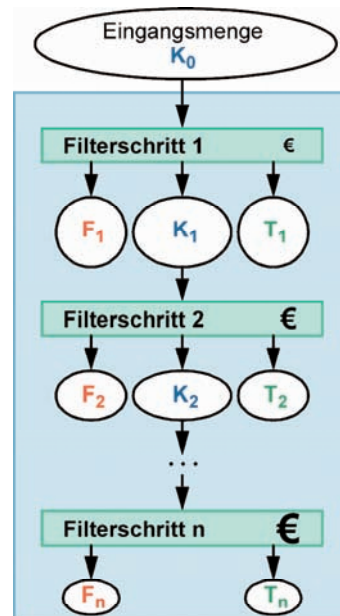


Abb. 2: Mehrstufige Anfragebearbeitung.

- *Nächste-Nachbarn-Anfragen*, die aus einer Relation die k nächstgelegenen Geoobjekte in Hinblick auf einen Anfragepunkt p berechnen.

Die effiziente Bearbeitung räumlicher Basisanfragen wird durch einige Charakteristika von Geodaten erschwert: So ist die Anzahl der Objekte in einer Geodatenbank unter Umständen sehr hoch. Außerdem ist verglichen mit herkömmlichen relationalen Datentypen – Zeichenketten, Zahlen und Datumsangaben – die Verarbeitung geometrischer Datentypen weitaus aufwändiger.

4.1 Mehrstufige Anfragebearbeitung

Eine Konsequenz aus den genannten Eigenschaften ist die Bearbeitung von räumlichen Anfragen in mehreren *Filterschritten*, wobei der Aufwand pro Objekt mit den Filterschritten zunimmt (siehe Abb. 2). Somit wird versucht, die Menge der Objekte, die die Anfragebedingung potenziell erfüllen können (die *Kandidaten*, K_i), in frühen Filterschritten möglichst stark einzuschränken. Kandidaten, bei denen erst später erkannt wird, dass sie die Anfrage nicht erfüllen, heißen *Fehltreffer* (F_i). Zusätzliches Ziel dieser Strategie ist es, möglichst viele Objekte, die die Anfrage sicher erfüllen (*Treffer*, T_i), durch die Filterschritte zu identifizieren. Im letzten Filterschritt wird schließlich der aufwändige exakte Test der Anfragebedingung auf einer reduzierten Kandidatenmenge ausgeführt.

Zwei wichtige Formen von Filterschritten stellen *räumliche Indexe* (vgl. GAEDE & GÜNTHER 1998) und *Approximationen der Geometrie* dar, wobei die gängigste Approximation zu den Koordinatenachsen orthogonale *minimal umgebende Rechtecke* (MURs) sind.

4.2 Räumliche Indexe

In Datenbanksystemen dienen *Indexe* dazu, die Daten so zu organisieren, dass Anfragen bezüglich eines oder mehrerer Anfrageattribute effizient die gesuchten Daten finden. Solchen Indexen liegt typischerweise eine

Datenstruktur zugrunde, die eine *lineare Ordnung* benötigt, um die Daten sortiert anordnen zu können. Eine solche lineare Ordnung ist für Zahlen oder Zeichenketten offenkundig, für geometrische Datentypen hingegen nicht. Daher können herkömmliche Indexe nicht (ohne weiteres) für Geodaten eingesetzt werden.

Räumliche Indexe müssen in der Lage sein, Approximationen von Geometrien zu verwalten. Dazu zerlegen sie den Datenraum dynamisch in kleinere räumliche Einheiten, den *Blockregionen*. Um räumliche Basisanfragen effizient ausführen zu können, sollten Daten, die räumlich benachbart sind und daher von räumlichen Anfragen häufig gemeinsam benötigt werden, mit hoher Wahrscheinlichkeit zusammen in einer Blockregion abgespeichert werden.

In den 80er-Jahren wurde eine Reihe von *Punktstrukturen* entwickelt, die in der Lage sind, effizient zwei- oder mehrdimensionale Punkte zu organisieren. Für die Speicherung von Geometrien und Approximationen, die eine Ausdehnung besitzen, sind Punktstrukturen – zunächst – nicht geeignet. Daher wurden Verfahren entwickelt, die in der Lage sind, linien- und flächenhafte Geometrien zu organisieren (SEGER & KRIEGL 1988).

Das *Clipping* ordnet eine Geometrie jeder Blockregion zu, die sie schneidet. Dadurch können Duplikate entstehen und die Anzahl der Einträge im Index stark ansteigen.

Punkttransformationen überführen k -dimensionale Rechtecke in $2k$ -dimensionale Punkte, so dass Punktstrukturen als Index verwendet werden können. Da aber die geo-

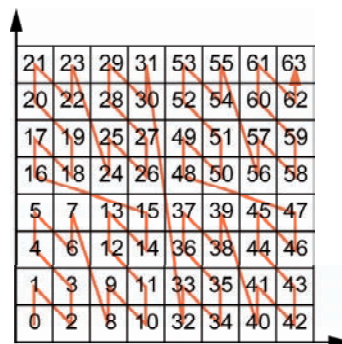


Abb. 3: z-Ordnung.

metrischen Verhältnisse aufgrund der Einbeziehung der Ausdehnung verloren gehen, bleibt die räumliche Nachbarschaft von Objekten nicht hinreichend erhalten.

Fraktale Kurven erlauben eine Einbettung eines mehrdimensionalen Raums in den eindimensionalen Raum. Dazu wird der Datenraum in Zellen gleicher Größe eingeteilt und diese Zellen über die fraktale Kurve durchnummeriert. Damit entsteht eine lineare Ordnung zwischen den Zellen. Abb. 3 zeigt dies anhand der *z-Ordnung*. Somit kann ein herkömmlicher Index zur Organisation der Geodaten verwendet werden. Der *relationale lineare Quadtree* beruht auf diesem Ansatz. Allerdings sind fraktale Kurven nicht in der Lage, an allen Stellen des Datenraums räumliche Nähe zu erhalten.

Das Prinzip der *überlappenden Blockregionen* erlaubt eine nicht disjunkte Aufteilung des Datenraums. Durch die Überlappungen der Blockregionen kann ein willkürliches Zerschneiden von Geometrien vermieden werden. Der *R-Baum* von GUTTMAN (1984) beruht auf diesem Ansatz. Hauptschwierigkeit bei der Technik überlappender Blockregionen ist es, die Überlappungen möglichst klein zu halten. Durch die Überlappung wird die Effizienz räumlicher Anfragen negativ beeinflusst, da die Verarbei-

tung dort in mehrere Teilbäume verzweigen muss. Daher haben späterer Varianten des R-Baums versucht, die Überlappungen zu verringern. Hier sei insbesondere der *R*-Baum* genannt (BECKMANN et al. 1990).

4.3 Komplexe Basisanfragen

Während die Bearbeitung einfacher räumlicher Basisanfragen wie Punkt- und Rechteckanfragen sich unmittelbar aus der Datenstruktur des räumlichen Indexes ableitet, bedürfen komplexere Basisanfragen wohlüberlegter Verfahren. Als Beispiele hierfür sind der *räumliche Verbund* zwischen R-Bäumen (BRINKHOFF et al. 1993) und die Bearbeitung von *Nächste-Nachbarn-Anfragen* (HJALTASON & SAMET 1999).

5 Künftige Entwicklung

In den vorhergehenden Kapiteln wurde der Stand wiedergegeben, den Geodatenbanksysteme in den letzten Jahrzehnten erreicht haben. Nun sollen aktuelle Trends betrachtet werden.

5.1 3D-Geodatenbanken

In den letzten Jahren haben *3D-Geoinformationssysteme* deutlich an Bedeutung gewonnen (COORS & ZIPF 2005). Dies legt die Verwendung von *3D-Geodatenbanksystemen* nahe. Allerdings benötigt man für die Speicherung von 3D-Geodaten nicht immer ein 3D-Geodatenbanksystem. Oftmals reicht es, die Höheninformation als zusätzliches thematisches Attribut zu speichern (2,5D-Datenmodell). Der Bedarf, ein 3D-Geodatenbanksystem einzusetzen, ist davon abhängig, ob die dritte Dimension hinsichtlich Ausdehnung und Verwendung in Anfragebedingungen gleichberechtigt zu den ersten beiden Dimensionen ist. Auch ist zu betrachten, ob dreidimensionale Funktionen (z. B. die Berechnung des Schnitts zwischen zwei Körpern) benötigt werden.

Ein 3D-Geodatenbanksystem muss dem Anwender ein geeignetes Datenbankmodell bereitstellen und die für 3D-Anwendungen erforderlichen räumlichen Basisanfragen

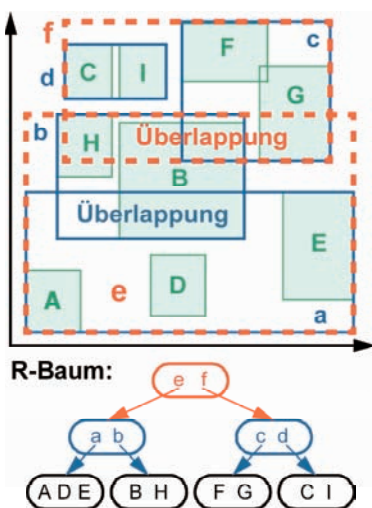


Abb. 4: Überlappende Blockregionen und R-Baum.

durch entsprechende Indexe und geometrische Algorithmen unterstützen.

ISO 19107 „Spatial Schema“ enthält sowohl geometrische als auch topologische 3D-Primitive, wobei allerdings nur eine vektorbasierte Randrepräsentation vorliegt. Die datenbankbezogenen ISO- und OGC-Spezifikationen berücksichtigen 3D-Geometrien hingegen bislang nur sehr rudimentär. Gleiches gilt für die derzeitigen objekt-relationalen Geodatenbanksysteme. Hier sind proprietäre Erweiterungen zu erwarten. Solche Datenmodelle müssen analog zum Simple Feature Model geometrische Funktionen anbieten, die Körper als Eingangsparameter und ggf. auch als Resultat haben.

5.2 Verwaltung von Messdaten

Mit dem Aufkommen moderner Messverfahren wie dem Laserscanning steigen die Datenvolumina georeferenzierter Messdaten massiv an. Dadurch entstehen sehr große Geodatenbanken im Terabyte-Bereich. Ein einzelnes Messdatum hat dabei eine recht einfache Struktur: typischerweise eine (3D-) Punktkoordinate mit einem Messwert oder einem Vektor von Messwerten.

Messsysteme verwalten Messdaten meist dateigestützt und überlassen die Auswertung speziellen Programmen oder CAD-Erweiterungen. Aufgrund der Datenvolumina stößt dieser Ansatz aber an seine Grenzen. Derzeitige Geodatenbanksysteme sind hingegen auf die Verwaltung bereits aufbereiteter geographischer Daten ausgerichtet. Somit besteht die Anforderung, die Kluft zwischen diesen beiden Ansätzen zu schließen und Anfragen, die zur Analyse der Messdaten erforderlich sind, durch Geodatenbanksysteme zu unterstützen. Als Beispiel sei hier die Bereitstellung von Basisanfragen genannt, die zur Extraktion und Approximation von Flächen und Kanten aus Punktwolken benötigt werden (BRINKHOFF 2004).

5.3 Spatio-temporale Datenbanken

Bei Geodaten spielt insbesondere das Miteinander von Raum und Zeit eine entscheidende Rolle. So möchte man zum Beispiel

- wissen, wann das Römische Reich seine größte Ausdehnung besaß,
- alle Fahrzeuge abfragen, die schneller als 120 km/h fahren oder
- alle Personen bestimmen, die voraussichtlich in den nächsten 15 Minuten eine Filiale passieren werden.

Bei allen drei Beispielen liegt eine Kombination zwischen räumlichen und zeitlichen Anfragekriterien vor. Dafür bieten aber derzeitige Geodatenbanksysteme keine geeigneten Operationen und Indexe an. Dies hat in den letzten Jahren zur Entwicklung von *spatio-temporalen Datenbankmodellen* und *Datenstrukturen* geführt – eine Entwicklung, die zurzeit noch keinen Abschluss gefunden hat. Für eine ausführliche Darstellung zu dieser Thematik sei hier auf die Darstellung von GÜTING & SCHNEIDER (2005) verwiesen.

5.4 Sensornetzwerke

Die technologische Entwicklung ermöglicht es zunehmend, Sensoren, Prozessoren und autarke Energiequellen preisgünstig auf kleinstem Raum zu integrieren. Über drahtlose Kommunikationseinrichtungen können solche *Sensorknoten* ein (drahtloses) *Sensornetzwerk* bilden, in dem die Knoten miteinander kommunizieren können. Die Aufgabe eines Sensorknotens besteht dann u. a. im Auslesen der Messdaten von den Sensoren und der Weiterleitung dieser Daten. Sensorknoten haben eine Lage im Raum, die für eine korrekte Interpretation der Messwerte oftmals von hohem Interesse ist. Damit produziert ein Sensorknoten Geodaten.

Auf dieser Basis kann man den Ansatz verfolgen, die Sensorknoten mit einfacher

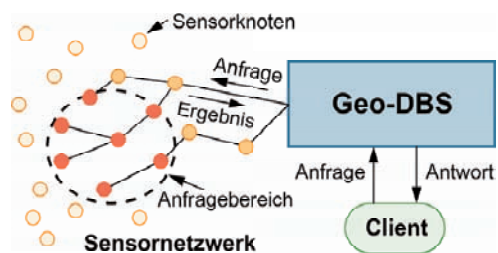


Abb. 5: Sensornetzwerk als Geodatenbank.

DBS-Funktionalität auszustatten (Woo et al. 2004). Dies ermöglicht einem Client, eine Anfrage an das Sensornetzwerk zu stellen, die dann von den einzelnen Sensorknoten autonom weitergeleitet und verarbeitet wird, so dass ein Anfrageergebnis zurück übermittelt werden kann. Dabei sind prinzipiell auch räumliche Anfragen vorstellbar; das Sensornetzwerk ist dann wie in Abb. 5 Teil eines Geodatenbanksystems.

6 Schlussbetrachtung

Ein solcher Artikel kann naturgemäß nur einen groben Überblick über die Entwicklung von Geodatenbanksystemen in den letzten Jahrzehnten geben. Viele Aspekte und Teilgebiete konnten nur kurz angerissen werden oder wurden – wie z. B. spezifische geometrische Algorithmen – gar nicht erwähnt. Der interessierte Leser sei hier auf die aufgeführte Literatur verwiesen. Die nachfolgenden Aussagen sollen ein kurzes Fazit darstellen:

- Objektrelationale Geodatenbanksysteme stellen ein essenzielles und ausgereiftes Werkzeug zur Speicherung und Abfrage von (zweidimensionalen) Geodaten dar.
- Sie sind ein wesentlicher Baustein für offene GI-Systeme, die es erlauben, Geodaten interoperabel in eine DV-Infrastruktur zu integrieren.
- Die weitere Entwicklung wird das Einsatzfeld von Geodatenbanksystemen weiter vergrößern.

Literatur

- BECKMANN, N., KRIEGEL, H.-P., SCHNEIDER, R. & SEEGER, B., 1990: The R*-tree: An Efficient and Robust Access Method for Points and Rectangles. – Proceedings ACM SIGMOD International Conference on Management of Data, Atlantic City: 322–331.
- BRINKHOFF, T., 2004: Spatial Access Methods for Organizing Laserscanner Data. – Proceedings 20th Congress of the International Society of Photogrammetry and Remote Sensing, Istanbul.
- BRINKHOFF, T., 2005: Geodatenbanksysteme in Theorie und Praxis. – 466 S., Wichmann Verlag, Heidelberg.
- BRINKHOFF, T., KRIEGEL, H.-P. & SEEGER, B., 1993: Efficient Processing of Spatial Joins Using R-trees. – Proceedings ACM SIGMOD International Conference on Management of Data, Washington DC: 237–246.
- COORS, V. & ZIPF, A. (Hrsg.), 2005: 3D-Geoinformationssysteme. – 522 S., Wichmann Verlag, Heidelberg.
- GAEDE, V. & GÜNTHER, O., 1998: Multidimensional Access Methods. – ACM Computing Surveys, **30**(2): 170–231.
- GÜTING, R.H. & SCHNEIDER, M., 2005: Moving Objects Databases. – 389 S., Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco.
- GUTTMAN, A., 1984: R-trees: A Dynamic Index Structure for Spatial Searching. – Proceedings ACM SIGMOD International Conference on Management of Data, Boston: 47–57.
- HJALTASON, G.R. & SAMET, H., 1999: Distance Browsing in Spatial Databases. – ACM Transactions on Database Systems, **24**(2): 265–318.
- RIGAUX, P., SCHOLL, M. & VOISARD, A., 2002: Spatial Databases, With Applications to GIS. – 410 S., Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco.
- SEEGER, B. & KRIEGEL, H.-P., 1988: Techniques for Design and Implementation of Efficient Spatial Access Methods. – Proceedings 14th International Conference on Very Large Data Bases, Los Angeles: 360–371.
- TOMLINSON, R.F., 1984: Geographic Information Systems – A New Frontier. – The Operational Geographer/La Géographie Appliquée, **1984** (5): 31–36.
- WOO, A., MADDEN, S. & GOVINDAN, R., 2004: Networking Support for Query Processing in Sensor Networks. – Communications of the ACM, **47**(6): 47–52.

Anschrift des Autors:

Prof. Dr. THOMAS BRINKHOFF
 Institut für Angewandte Photogrammetrie und
 Geoinformatik (IAPG)
 FH Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelmshaven
 Ofener Str. 16, D-26121 Oldenburg
 e-mail: thomas.brinkhoff@fh-oldenburg.de

Manuskript eingereicht: Mai 2006
 Angenommen: Juni 2006

Tourenoptimierung mit weichen Zeitfenstern

EIKE LARS MEYER, Hannover & STEFAN SCHÖF, Oldenburg

Keywords: Geoinformatics, traveling salesperson problem, soft time windows, route optimization, tabu search

Summary: *Tour optimization with soft time windows.* This paper presents an algorithm to find an optimal tour where a single vehicle is required to visit each of a given set of stations. This problem is in its basic form well-known as the “Traveling Salesperson Problem”. Opposed to many other approaches, our algorithm handles two additional requirements, which are very important to practical applications: The total costs of a tour are defined as a weighted sum of distance and traveling time. Moreover, the vehicle must visit each station within a specified time window. Lateness at stations is allowed but a penalty is added to the costs. The total costs of a tour may be lower if small delays at a station (with small penalties) are accepted. Our algorithm can handle these “soft time windows”, too. A heuristic algorithm based on reactive tabu-search is presented. With the help of its implementation it was possible to improve the best-known solutions to some problem instances, which were examined very thoroughly in related papers, before.

Zusammenfassung: In dieser Arbeit wird die für viele Branchen (z. B. Versandhandel) wichtige Frage untersucht, wie ein Fahrzeug eine gegebene Anzahl von Stationen so kostengünstig wie möglich aufsuchen kann. Dieses „Traveling Salesperson Problem“ wurde in der Literatur bereits ausführlich behandelt. Der vorliegende Beitrag berücksichtigt zwei für die Praxis äußerst wichtige Anforderungen und unterscheidet sich dadurch von vielen anderen Arbeiten in diesem Bereich: Die Definition der Kosten einer Route erfolgt über eine gewichtete Summe aus Entfernung und Reisedauer. Außerdem können für die Ankunft an einzelnen Stationen Zeitfenster vereinbart werden, wobei bei Verspätungen Strafzahlungen anfallen können. Die Gesamtkosten einer Route können günstiger sein, wenn man an einer Station geringe Verspätungen (bei entsprechenden geringen Strafzahlungen) in Kauf nimmt. Diese „weichen“ Zeitfenster werden ebenfalls berücksichtigt. Es wird ein heuristischer Algorithmus auf Grundlage der reaktiven Tabusuche vorgestellt. Mittels einer Implementierung des Algorithmus konnten für einige in der Literatur bereits ausführlich untersuchte Probleminstanzen die bisher besten bekannten Lösungen verbessert werden.

1 Einführung

Das Traveling Salesperson Problem (TSP, Problem des Handlungsreisenden) zählt zu den bekanntesten kombinatorischen Optimierungsproblemen. Ein Handlungsreisender unternimmt ausgehend von einer beliebigen Startstation eine Rundreise durch n andere, voneinander verschiedene Stationen, die er genau einmal besucht. Anschließend kehrt er wieder zu seiner Ausgangsstation zurück. Aus den insgesamt $n!$ möglichen

Touren soll nun die kürzeste bzw. kostengünstigste Rundreise ermittelt werden, wobei die Entfernungen der einzelnen Stationen zueinander bekannt sind. Bei einer graphentheoretischen Modellierung des Problems werden die Stationen und Wege zwischen diesen als Knoten bzw. Kanten eines vollständigen, gewichteten Graphen definiert. Das Kantengewicht entspricht der Länge bzw. den Kosten des jeweiligen Weges.

Verschiedene Varianten des TSP spielen in der Praxis eine Rolle, so dass manchmal

von einer TSP-Familie (SCHMITTING 1999) gesprochen wird. So ist es etwa möglich, für Hin- und Rückweg unterschiedliche Kosten anzusetzen (asymmetric TSP) oder bestimmte zeitliche Restriktionen für den Besuch einzelner Stationen zu vergeben (TSP with time windows). Eine wichtige Erweiterung von TSP stellt das Vehicle Routing Problem (VRP, Problem der Tourenplanung) dar, bei dem mehrere Fahrzeuge zum Besuch der Stationen zugelassen sind und zusätzliche Bestellmengen für jede Station beachtet werden. Auch hier gibt es aufgrund verschiedener Praxisanforderungen mehrere Varianten. Es hat sich gezeigt, dass sich Algorithmen zur Behandlung einer bestimmten TSP- oder VRP-Variante nicht ohne weiteres auf andere Varianten übertragen lassen.

Aus den Kundenanforderungen der Firma klickTel, Essen, resultierte die Notwendigkeit, die Variante A-TSP-STW (asymmetric TSP with soft time windows) zu untersuchen, die sich von der oben beschriebenen Grundform wie folgt unterscheidet. Start- und Zielstation können unterschiedlich sein, Hin- und Rückwege können unterschiedliche Kosten haben. Das Fahrzeug muss jede Station innerhalb eines bestimmten Zeitfensters erreichen. Verspätungen hierbei sind erlaubt (weiche Zeitfenster), werden aber mit einer Strafe (Zusatzkosten) geahndet. Optimierungsziel ist eine gewichtete Summe aus Fahrzeit, Fahrstrecke und Strafkosten. Eine Tour, die Verspätungen an gewissen Stationen und damit Strafzahlungen in Kauf nimmt, kann insgesamt daher trotzdem die kostengünstigste sein.

Eine optimale Lösung für A-TSP bzw. TSP-TW zu finden ist NP-hart (ASCHEUER et al. 1997, CALVO 2000, BARNES & CARLTON 1996), es können algorithmisch also nur Näherungslösungen in angemessener Zeit ermittelt werden. An der Fachhochschule Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelmshaven wurde in einer Diplomarbeit (MEYER 2005) eine Heuristik zur Berechnung möglichst kostengünstiger Lösungen entworfen und implementiert. Im Abschnitt 2 dieses Artikels wird zunächst ein kurzer Überblick über verwandte Arbeiten auf dem Gebiet der

TSP- und VRP-Algorithmen gegeben. Danach wird die entwickelte Optimierungstechnik vorgestellt, bevor im nächsten Abschnitt einige Testergebnisse die Leistungsfähigkeit des Verfahrens belegen. Eine kurze Zusammenfassung erfolgt in Abschnitt 5.

2 Verwandte Arbeiten

Im Zusammenhang mit Zeitfenstern findet man in der Literatur wesentlich mehr Arbeiten zum VRP als zum TSP. Das TSP mit weichen Zeitfenstern und asymmetrischen Modellen (Hinweg- und Rückweg haben unterschiedliche Kosten) wurde bislang in der Literatur noch nicht direkt behandelt. Anregungen für einen Algorithmus für das A-TSP-STW sind daher in Arbeiten zum TSP mit Zeitfenstern zu suchen.

Eine erste Formulierung von TSP-TW findet sich in BAKER 1983. Hier wird allerdings wie auch in DUMAS et al. 1995, BIANCO et al. 1997, GENDREAU et al. 1998a, ASCHEUER et al. 1999, BALAS & SIMONETTI 2001, FOCACCI et al. 2002 ein exaktes Verfahren zur Bestimmung der optimalen Lösung verwendet. Die Schwierigkeit solcher exakten Verfahren ist jedoch, dass ihre Laufzeit für große Probleme i.a. inakzeptabel ist. Außerdem berichten fast alle Arbeiten, dass die Lösungsschwierigkeit von TSP-TW in erster Linie durch die Größe der Zeitfenster bestimmt wird. Diese können aber bei praktischen Aufgabenstellungen recht groß werden. Ein weiteres Problem ist, dass als Optimierungsziel vorrangig die reine Fahrzeitminimierung angestrebt wird. Bereits die Berücksichtigung auch der Wartezeiten von Fahrzeugen bei zu frühem Eintreffen bei einzelnen Stationen steigert den Aufwand erheblich (DUMAS et al. 1995). Eine Minimierung der tatsächlichen Kosten (d.h. auch Fahrstrecke und Strafzahlungen werden berücksichtigt) verkompliziert das Problem weiter. Heuristiken, die eine möglichst gute Lösung in annehmbarer Zeit anstreben, erscheinen daher für das zu untersuchende Problem interessanter. Obwohl zu TSP-TW auch Heuristiken mit anderen Strategien entwickelt wurden (z. B. (GENDREAU et al. 1998b, CALVO 2000)), zeigt das Verfahren

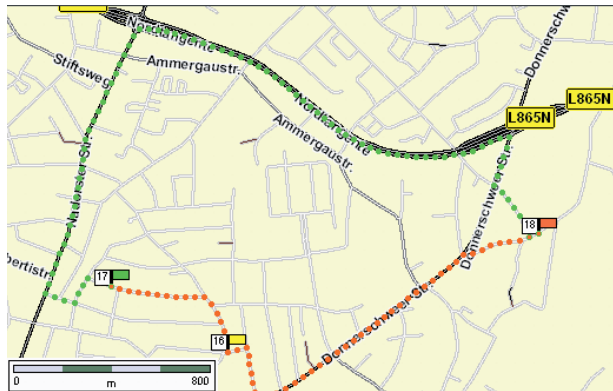


Abb. 1: Verletzung der Dreiecksungleichung.

aus BARNES & CARLTON 1996, das Tabusuche verwendet, sehr gute Ergebnisse: die (sehr schnell) berechneten Lösungen sind maximal 0,8% von der besten bekannten Lösung entfernt. Auch viele erfolgreiche Heuristiken für das VRP-TW basieren auf Tabusuche, in TAILLARD et al. 1995 werden sogar weiche Zeitfenster berücksichtigt.

Die Tabusuche hat außerdem den Vorteil, deterministisch zu sein, d. h. bei mehreren Optimierungsläufen für das gleiche Problem wird auch das gleiche Ergebnis erzeugt. Unterschiedliche Resultate könnten beim Anwender hingegen zu Unsicherheiten führen.

Ein weiterer Vorteil der Tabusuche ist, dass sie (im Gegensatz zu vielen anderen Verfahren) die Gültigkeit der Dreiecksungleichung nicht zwingend voraussetzt. Diese fordert, dass der direkte Weg zwischen zwei Punkten nie teurer ist als der Weg über eine Zwischenstation. Obwohl dies in der euklidischen Geometrie immer erfüllt ist, kann es für praktische Tourenplanungsprobleme sinnvoll sein, wegen bestimmter Nebenbedingungen (Vermeidung von Mautstrecken, Bevorzugung von Hauptstraßen etc.) eine Verletzung der Dreiecksungleichung zuzulassen. In Abb. 1 ist zwar der Weg von Station 17 über 16 nach 18 kostengünstiger als der direkte Weg von 17 nach 18, trotzdem soll eine Routenplanung den direkten Weg (Hauptstraße) von 17 nach 18 berücksichtigen. Das im Folgenden vorgestellte Verfahren basiert daher auf der Tabusuche.

3 Der Optimierungsalgorithmus

In diesem Abschnitt wird ein Verfahren für A-TSP-STW vorgestellt. Es stellt eine Adaption des in BARNES & CARLTON 1996 vorgestellten Verfahrens dar, das Tabusuche verwendet. Vor einer genaueren Darstellung des Verfahrens werden zunächst die Grundlagen der Tabusuche erläutert.

Einfache Suchheuristiken beginnen mit einer Anfangslösung, die z. B. durch einen Greedy-Algorithmus bestimmt werden kann. Ein Beispiel für einen solchen Algorithmus wäre, ausgehend von der Startstation immer die Station unter den noch nicht zur Route gehörenden hinzuzufügen, die zur zuletzt hinzugefügten Station die geringste Kostendistanz hat. Ausgehend von dieser (in der Regel weit vom Optimum entfernten) Anfangslösung wird nun in jedem Durchlauf von der gerade betrachteten Lösung zu der besten *Nachbarlösung* gewechselt. Ein *Zug* ist dabei die Transformation einer Lösung in eine Nachbarlösung. Die Suche endet, wenn keine Nachbarlösung mehr besser ist als die aktuelle Lösung. In der Regel wird also nur ein lokales, aber nicht unbedingt ein globales Optimum erreicht (siehe Abb. 2).

Was ein gültiger Zug ist (also welche Nachbarlösungen zu einer Lösung existieren), kann für das TSP sehr unterschiedlich definiert werden. Eine Möglichkeit ist es, 2 oder 3 Kanten einer Tour durch neue Kan-

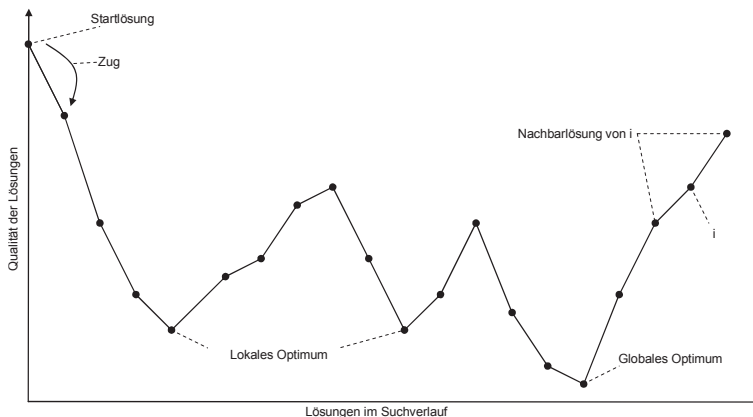


Abb. 2: Nachbarlösungen und Optima.

ten zu ersetzen, um zu einer (eventuell günstigeren) neuen Tour zu gelangen (2-opt- bzw. 3-opt-Verfahren). Eine beliebte Variante zum Erzeugen von Nachbarlösungen ist das Or-opt-Verfahren (OR 1976). Hierbei wird eine Station aus der Tour entfernt und an einer anderen Stelle wieder eingefügt. Dabei werden ebenfalls drei (allerdings nicht beliebige) Kanten durch drei andere ersetzt (siehe Abb. 3). Mit geringerem Aufwand erreicht das Or-opt-Verfahren eine ähnliche Lösungsgüte wie das 3-opt-Verfahren.

Einfache Heuristiken berücksichtigen nur einen relativ kleinen Teilbereich des gesamten Lösungsraumes und bleiben dann in lokalen Optima „stecken“. Die Qualität der gefundenen Lösung hängt damit stark von der Anfangslösung ab und ist ggf. sehr unbefriedigend. Deshalb wurden *Meta-Heuristiken* entwickelt, die diesen Nachteil vermeiden sollen. Zu den bekanntesten Meta-Heuristiken zählen Simulated Annealing,

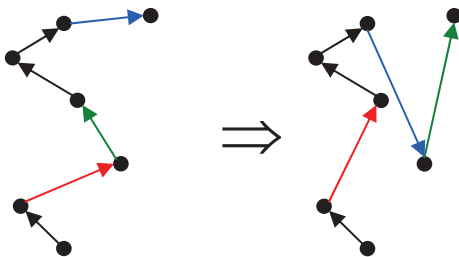


Abb. 3: Or-opt-Verfahren.

genetische Algorithmen und die Tabusuche. Beim *Simulated Annealing* (KIRKPATRICK 1983) werden Nachbarlösungen zufällig erzeugt. Ist eine so erzeugte Nachbarlösung besser als die aktuelle, so wird sie als aktuelle Lösung gewählt. Aber auch eine schlechtere Lösung wird mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit, die im Laufe der Zeit immer stärker abnimmt, akzeptiert. *Genetische Algorithmen* (GOLDBERG 1989) benutzen zur Optimierung Prinzipien der biologischen Evolution. Es wird eine Menge von Lösungen erzeugt, wobei durch Kreuzen guter Lösungen neue Lösungen (Nachkommen) erzeugt werden. Eine Lösung kann an einer oder an mehreren Stellen verändert werden (Mutation) und es können besonders gute Lösungen ausgewählt werden (Selektion).

Bei der *Tabusuche* wird jeweils die Nachbarlösung mit den geringsten Kosten als neue aktuelle Lösung ausgewählt, hierbei wird die gesamte Nachbarschaft berücksichtigt. Ein Ersetzen der aktuellen Lösung durch die beste Nachbarlösung findet selbst dann statt, wenn diese Lösung schlechter ist als die aktuelle Lösung. Beim Erreichen eines lokalen Optimums würde auf diese Weise allerdings ständig zwischen diesem lokalen Optimum und dessen besten Nachbarn gewechselt werden. Um dies zu vermeiden, werden die Umkehrzüge der letzten Züge als *tabu* gespeichert und dürfen in den nächsten Schritten nicht mehr ausgeführt werden. Dies ermöglicht das Verlassen lokaler Opti-

ma. Die Anzahl der Durchläufe, in denen ein Zug nicht ausgeführt werden darf, wird *Tabulänge* genannt. Eine grundlegende Diskussion der Tabusuche findet sich in GLOVER & LAGUNA 1993. Die Qualität der Tabusuche hängt stark von der Tabulänge ab. Ist sie zu klein, werden zyklisch immer wieder dieselben Lösungen gewählt, ist sie zu groß, stehen nicht mehr genügend Züge zur Auswahl, wodurch gute Lösungen evtl. verhindert werden. Bei der *reaktiven Tabusuche* (BATTINI & TECCHIOLLI 1993) wird daher die Tabulänge dynamisch angepasst.

Das in dieser Arbeit vorgestellte Verfahren verwendet die reaktive Tabusuche. Als Anfangslösung wird die Tour gewählt, die sich ergibt, wenn die Stationen in der Reihenfolge ihrer Zeitfenstermittelpunkte sortiert werden. Die in jedem Schritt der Tabusuche zu berücksichtigende Nachbarschaft wird nach dem Or-opt-Verfahren ermittelt. Aus allen so ermittelten Nachbarlösungen wird unter den nicht mit einem Tabu belegten Touren die kostenminimale ausgewählt. Eine Tabuverletzung wird in Kauf genommen, wenn damit eine Lösung erreicht wird, die noch nicht besucht wurde und die kostengünstiger ist als die bisher beste bekannte Lösung. Die Tabusuche endet nach einer festen Anzahl von Iterationen. Alternativ wurden auch zwei Strategien zum vorzeitigen Beenden der Tabusuche implementiert: Beenden nach Mehrfachbesuch der besten Lösung (TAILLARD et al. 1995) bzw. nach einer Maximalzahl von Schritten ohne Lösungsverbesserung (OSMAN 1993). Diese Verfahren verkürzten zwar häufig die Laufzeit, wirkten sich dann aber oft negativ auf die Ergebnisqualität aus.

Die Anzahl der Nachbarlösungen kann bei kombinatorischen Optimierungsproblemen sehr groß werden. Um den Algorithmus zu beschleunigen, wurde daher auf zwei Arten versucht, die Anzahl der zu durchsuchenden Nachbarlösungen zusätzlich einzuschränken. Zum einen wurden Nachbarlösungen, in denen Zeitfenster nicht eingehalten werden können, nicht berücksichtigt. Auch eine Beschränkung des Or-opt-Verfahrens auf eine maximale Verschiebedistanz wurde untersucht. Beide Möglichkeiten

verschlechterten allerdings die Qualität der Lösungen.

Die Tabusuche erfordert ein schnelles Auffinden und eine effiziente Identifizierung bereits besuchter Lösungen. Um nicht die Reihenfolge jeder besuchten Tour komplett speichern und dann stationsweise vergleichen zu müssen, wird das Hashtourverfahren aus WOODRUFF & ZEMEL 1993 verwendet.

Das Berechnen der Kosten einer Tour bestimmt zu einem großen Teil die Laufzeit des Algorithmus. Bei jedem Schritt der Tabusuche muss für jede Nachbartour die Kostenfunktion berechnet werden. Wird nur bzgl. der reinen Fahrzeit minimiert, muss lediglich die Kostendifferenz der Veränderungen von der aktuellen Tour zur Nachbartour berechnet werden. Dies geht verhältnismäßig schnell. Ziel dieser Arbeit ist allerdings die Optimierung der tatsächlichen Kosten als gewichtete Summe aus Fahrt- und Wartezeit, Fahrtstrecke und Strafzahlungen. Hier ist eine komplette Neuberechnung für jede Tour unvermeidbar.

Entscheidenden Einfluss auf die Ergebnisqualität haben die Parameter der reaktiven Tabusuche, vor allem der Tabulängenabnahme- und -zunahmefaktor sowie die initiale Tabulänge. In umfangreichen Testläufen wurde untersucht, wie sich diese Faktoren auf unterschiedliche Probleminstanzen des A-TSP-STW auswirkten. Die Veränderung der initialen Tabulänge wirkt sich in sehr uneinheitlicher Weise auf die Qualität der gefundenen Lösung aus. Ein im Durchschnitt zufrieden stellender Wert wird er-

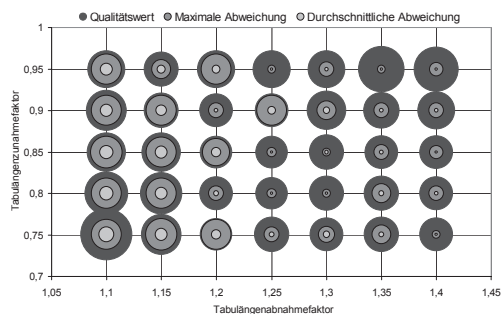


Abb. 4: Qualität der Tabusuche bei verschiedenen Änderungsfaktoren der Tabulänge.

reicht, wenn die Tabulänge anfangs der Anzahl der Stationen entspricht. Bei der Untersuchung der Tabulängenabnahme- und -zunahmefaktoren (siehe Abb. 4) ergab sich, gemittelt über jeweils 8000 Durchläufe von 72 Probleminstanzen für 35 Kombinationen dieser beiden Parameter, ein relativ uneinheitliches Bild. Für die in Abschnitt 4 vorgestellten Tests wurde das Parameterpaar 0,85/1,25 gewählt, das bei guter Durchschnittsqualität nur geringe Abweichungen zeigt. In BARNES & CARLTON 1996, BATTINI & TECCHIOLLI 1993 werden mit (0,9/1,2 bzw. 0,9/1,1) ähnliche Werte vorgeschlagen.

4 Testergebnisse

Das im vorigen Abschnitt beschriebene Verfahren wurde in einer .NET-Anwendung unter C# implementiert. Hier können die

notwendigen Probleminstanzen eingegeben (siehe Abb. 5) und die Ergebnisse dargestellt werden (siehe Abb. 6 und 7).

Die Laufzeit des Programms nimmt mit steigender Zahl von Stationen zu (siehe Abb. 8). Der Anstieg ist aber verglichen mit einer vollständigen Enumeration (Aufwand in $O(n^n)$) äußerst gering. So erlaubt die reaktive Tabusuche auch das Berechnen von Problemen mit vielen Stationen.

Für eine praxisorientierte Lösung muss nun bestimmt werden, wie viele Iterationen der Tabusuche durchgeführt werden sollen, um ein zufrieden stellendes Ergebnis zu erreichen.

Optimale Lösungen können je nach betrachteter Probleminstanz früh oder auch erst sehr spät gefunden werden. Für das in Abb. 9 dargestellte Problem wird die optimale Lösung bereits nach weniger als 100

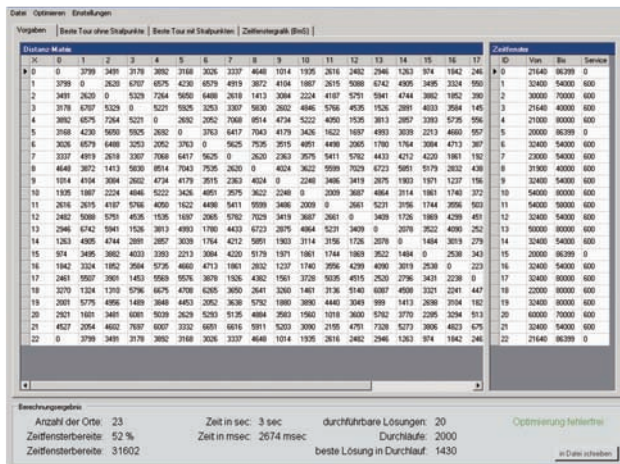


Abb. 5: Hauptfenster der Anwendung.

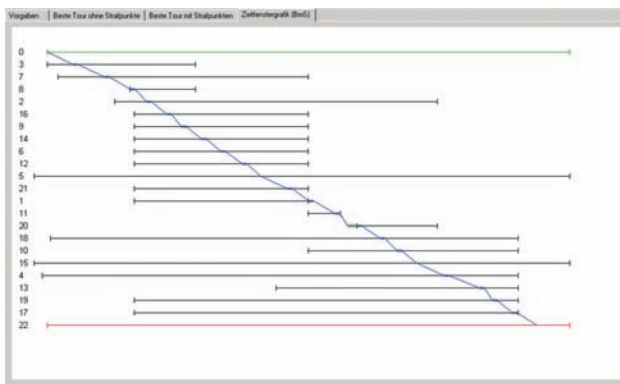


Abb. 6: Zeitfenster-orientierte Darstellung der Ergebnistour.

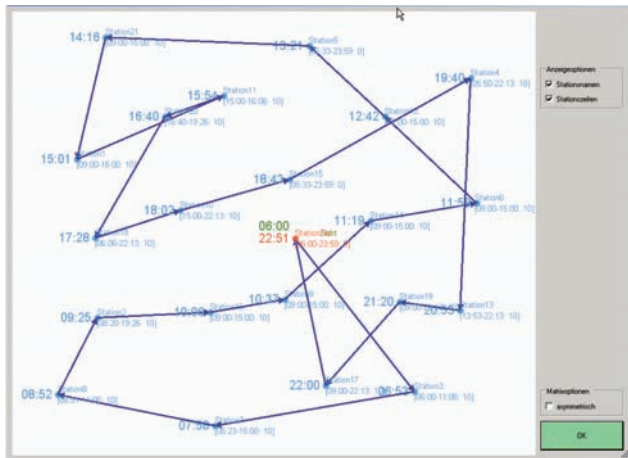


Abb. 7: Räumliche Darstellung der Ergebnistour.

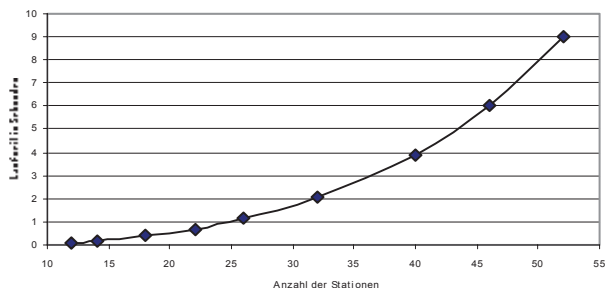


Abb. 8: Laufzeit für 1.000 Iterationen.

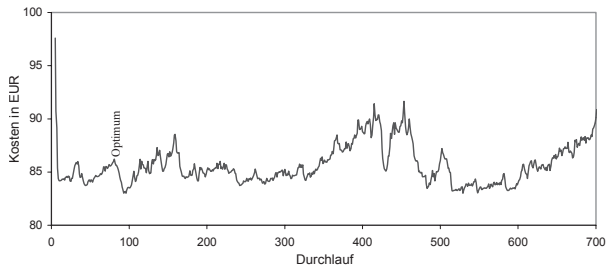


Abb. 9: Kostenverlauf für ein Problem mit 26 Stationen.

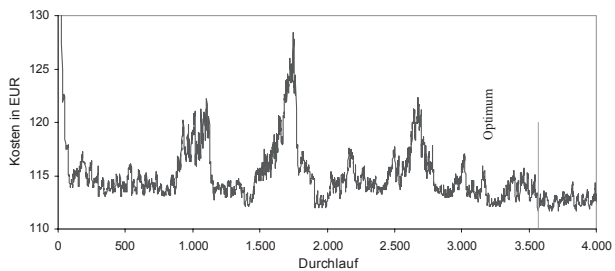


Abb. 10: Kostenverlauf für ein Problem mit 52 Stationen.

Iterationen gefunden, während das in Abb. 10 dargestellte Problem mehr als 3500 Iterationen benötigt. Auch in Abb. 10 ist aber zu sehen, dass schon relativ früh erreichte Lösungen nicht allzu sehr von diesem Optimum abweichen. Selbst die verwendeten Zeitfenster können einen starken Einfluss darauf haben, wann das Optimum gefunden wird. Für das in Abb. 11 dargestellte Routenplanungsproblem wurden je nach gewählten Zeitfenstern zwischen 22 und 2523 notwendige Iterationen gezählt.

Aus einer statistischen Auswertung von 222 Tourenplanungsproblemen aus der Praxis der Firma clickTel wurden daher Richtwerte für die Anzahl der (je nach gewünsch-

ter Ergebnisqualität) notwendigen Iterationen abgeleitet (siehe Tab. 1). Beispiel für das Lesen der Tabelle: Damit auf Problemen mit 22 Stationen für 90 % aller Testläufe die ermittelte Lösung um weniger als 1 % von der Bestlösung abweicht, mussten 4415 Iterationen erfolgen. Dies ist also die Mindestzahl empfohlener Iterationen, wenn die gewünschte Ergebnisqualität nur in 10 % aller Fälle verfehlt werden darf.

Um die Qualität des Algorithmus weiter beurteilen zu können, wurde er mit den in ASCHEUER 1996 vorgestellten Probleminstanzen getestet. Einige dieser Probleminstanzen konnten mit Branch-and-Cut exakt gelöst werden (ASCHEUER et al. 1999). Für die anderen Probleme wurden Schranken angegeben, unterhalb derer sich die optimale Lösung befindet. Durch den in (FOCACCIO et al. 2002) vorgestellten Algorithmus konnten weitere optimale Lösungen angegeben werden. Die Ergebnisse wurden mit Resultaten des in dieser Arbeit präsentierten Algorithmus verglichen. Der hier vorgestellte Algorithmus ist im Gegensatz zu den beiden Vergleichsarbeiten auch für weiche Zeitfenster geeignet und berücksichtigt neben der Distanz auch die Fahrtzeiten. Für die durchgeführten Testläufe wurde eine durchaus mögliche Vereinfachung

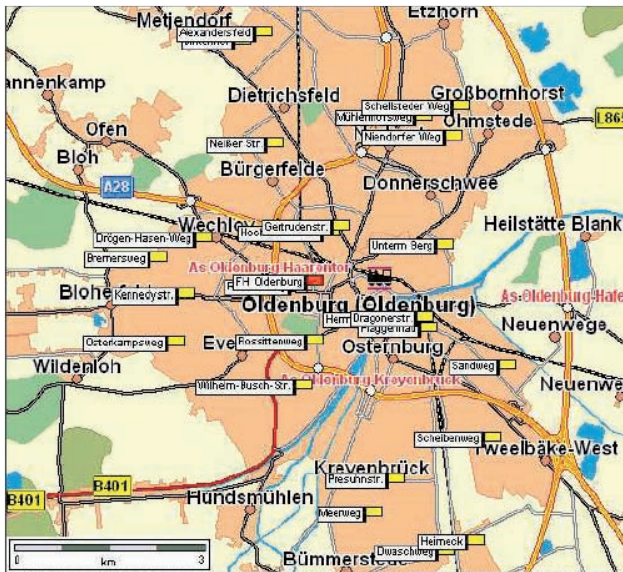


Abb. 11: Routenplanungsproblem mit 27 Stationen.

Tab. 1: Richtwerte für die empfohlene Anzahl von Iterationen.

Anzahl der Stationen	Abweichung = 0 %			Abweichung < 1 %			Abweichung < 5 %		
	zu 97,5 %	zu 90 %	zu 70 %	zu 97,5 %	zu 90 %	zu 70 %	zu 97,5 %	zu 90 %	zu 70 %
14	201	147	87	201	147	87	201	147	87
18	1.553	1.121	639	310	229	139	265	192	110
22	6.295	4.487	2.466	6.225	4.415	2.392	98	76	51
26	5.112	3.744	2.214	1.196	845	453	49	42	33
27	11.642	8.362	4.695	10.545	7.293	3.657	303	221	128
32	24.596	17.845	10.297	6.909	4.895	2.643	1.058	736	377
40	100.514	71.837	39.776	94.309	65.749	33.820	2.780	1.979	1.083
52	352.069	266.603	171.052	221.093	160.691	93.162	59.136	40.876	20.460

Tab. 2: Ergebnisse für die Probleminstanzen aus (ASCHEUER 1996).

Name	#Sta- tionen	[ASCHEUER et al.1999]		[FOCACCI et al. 2002]		[MEYER 2005]		Abw. in %
		Wert	Zeit	Wert	Zeit	Wert	Zeit	
rbg038a	40	466	4.232,2	466	0,2	466	0,1	0,00
rbg040a	42	386	751,8	386	738,1	386	0,1	0,00
rbg041a	43	382–417	–	403	–	402	511,7	–0,25
rbg042a	44	409–435	–	411	149,8	411	1.946,7	0,00
rbg048a	50	455–527	–	492	–	504	9,6	2,44
rbg049a	51	418–501	–	488	–	484	316,6	–0,82
rbg050a	52	414	18,6	414	95,6	418	66,7	0,97
rbg050b	52	453–542	–	527	–	518	33,2	–1,71
rbg050c	52	509–536	–	543	–	526	209,3	–1,87
rbg055a	57	814	6,4	814	2,5	814	11,2	0,00
rbg067a	69	1048	6,0	1.048	4,0	1.048	102,2	0,00
rbg086a	88	1049–1052	–	1.086	–	1.051	659,2	–0,10
rbg092a	94	1102–1111	–	1.109	–	1.093	65,3	–1,44
rbg125a	127	1410	229,8	1.446	–	1.410	4.357,1	0,00

nicht durchgeführt. In Tab. 2 sind die Testergebnisse für alle Probleme mit mindestens 40 Knoten gezeigt (für kleinere Probleme wurde durch alle Arbeiten die jeweils optimale Lösung erreicht). Wie zu sehen ist, konnte der hier vorgestellte Algorithmus für sechs Probleminstanzen die bisher beste bekannte Lösung verbessern. Darunter ist zum Beispiel ein Problem mit 94 Stationen, für das die bisher beste bekannte Lösung innerhalb von 66 Sekunden um 1,44% verbessert werden konnte. Insgesamt konnte lediglich für zwei Probleme die (bisherige) Bestlösung nicht erreicht werden.

5 Zusammenfassung

Es wurde ein auf der reaktiven Tabusuche basierendes Verfahren für die Tourenoptimierung mit weichen Zeitfenstern vorgestellt. Alle Tourenplanungssysteme, die mit Zeitfensterrestriktionen arbeiten, können Touren mit undurchführbaren Zeitfenstern nicht optimieren; hier verteilen sie zum Beispiel die Tour auf mehrere Tage. Die Berücksichtigung von undurchführbaren Touren kann trotz Strafzahlungen zu einer insgesamt kostengünstigeren Tour führen. In vielen Testinstanzen konnte beobachtet werden, dass minimale Zeitüberschreitungen einen beachtlichen Kostenvorteil bringen können.

Die Kostenberechnungsfunktion kann variabel eingesetzt werden. So können auch

weitere streckenabhängige Kosten (z. B. Maut) in die Kostenoptimierung einfließen.

Der implementierte Algorithmus ermittelt in der Praxis für Touren mit bis zu 30 Stationen das globale Optimum auf einer 3-GHz-CPU innerhalb von 10 Sekunden. Sogar bei Touren mit bis zu 52 Stationen werden sehr gute Lösungen gefunden, die im Durchschnitt nicht weiter als 1% vom globalen Optimum abweichen. Allerdings muss bei dieser Menge an Stationen im Einzelfall auch mit höheren Abweichungen gerechnet werden. Auch im Vergleich zu anderen Verfahren und Probleminstanzen überzeugt der Suchalgorithmus. So konnten bei mehreren bekannten Problemen die bisherigen Bestmarken verbessert werden.

Eine Erweiterung der Aufgabenstellung besteht in der Berücksichtigung mehrerer Fahrzeuge (M-TSP-STW) und zusätzlicher Bestellmengen (VRP-STW). Eine gute Lösung hierzu muss sich nicht ohne weiteres aus dem hier vorgestellten Algorithmus ergeben. Ein Ansatz auf Basis der reaktiven Tabusuche erscheint aber viel versprechend.

Literatur

- ASCHEUER, N., 1996: Hamiltonian Path Problems in the On-line Optimization of Flexible Manufacturing Systems. – Technical Report TR 96-3, Konrad-Zuse-Zentrum.
- ASCHEUER, N., FISCHETTI, M. & GRÖTSCHEL, M., 1997: A polyhedral study of the asymmetric tra-

- velling salesman problem with time windows. – Preprint SC 97–11, Konrad-Zuse-Zentrum.
- ASCHEUER, N., FISCHETTI, M. & GRÖTSCHEL, M., 1999: Solving the Asymmetric Travelling Salesman Problem with Time Windows by Branch-and-Cut. – Preprint SC 99–31, Konrad-Zuse-Zentrum.
- BAKER, E. K., 1983: An Exact Algorithm for the Time-Constrained Traveling Salesman Problem. – *Operations Research* **31**(5): 983–945.
- BALAS, E. & SIMONETTI, N., 2001: Linear Time Dynamic-Programming Algorithms for New Classes of Restricted TSPs: A Computational Study. – *INFORMS Journal on Computing* **13**(1): 56–75.
- BARNES, J. W. & CARLTON, W. B., 1996: Solving the traveling-salesman problem with time windows using tabu search. – *IIE Transactions* **28**: 617–629.
- BATTITI, R. & TECCHIOLLI, G., 1994: The reactive tabu search. – *ORSA J. Comput.*, **6**(2): 126–140.
- BIANCO, L., MINGOZZI, A. & RICCIARDELLI, S., 1997: Dynamic Programming Strategies for the Travelling Salesman Problem with Time Windows and Precedence Constraints. – *Operations Research* **45** (3): 365–377.
- CALVO, R. W., 2000: A New Heuristic for the Traveling Salesman Problem with Time Windows. – *Transportation Science* **34** (1): 113–124.
- DUMAS, Y., DESROSIERS, J., GELINAS, J. & SOLOMON, M. M., 1995: An Optimal Algorithm for the Traveling Salesman Problem with Time Windows. – *Operations Research* **43** (2): 367–371.
- FOCACCI, F., LODI, A. & MILANO, M., 2002: A Hybrid Exact Algorithm for the TSPTW. – *Journal on Computing* **14**: 403–417.
- GENDREAU, M., PESANT, G., POTVIN, J. Y. & ROUSSEAU, J. M., 1998a: An Exact Constraint Logic Programming Algorithm for the Traveling Salesman Problem with Time Windows. – *Transportation Science* **32** (1): 12–29.
- GENDREAU, M., HERTZ, A., LAPORTE, G. & STAN, M., 1998b: A generalized Insertion Heuristic for the Traveling Salesman Problem with Time Windows – *Operations Research* **46** (3): 330–335.
- GLOVER, F. & LAGUNA, M., 1993: Tabu Search. – In: REEVES, C. R. (Ed.): *Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems*. – Blackwell Scientific Publications, 70–150.
- GOLDBERG, D. E., 1989: *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*. – Addison-Wesley.
- KIRKPATRICK, S., GELATT, C. D. & Vecchi, M. P., 1983: Optimization by Simulated Annealing. – *Science*, **220** (4598): 671–680.
- MEYER, E. L., 2005: Eine praxisorientierte Lösung der Tourenoptimierung mit Zeitfenstern. – Diplomarbeit, Fachhochschule Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelmshaven.
- OR, I., 1976: *Traveling Salesman-Type Combinatorial Problems and Their Relation to the Logistics of Regional Blood Banking*. – Dissertation, Northwestern University, Evanston.
- OSMAN, I. H., 1993: Metastrategy simulated annealing and tabu search algorithms for the vehicle routing problem. – *Annals of Operations Research* **41**: 421–451.
- SCHMITTING, W., 1999: *Das Traveling-Salesman-Problem – Anwendungen und heuristische Nutzung von Voronoi-/Delaunay-Strukturen zur Lösung euklidischer, zweidimensionaler Traveling-Salesman-Probleme*. – Dissertation, Universität Düsseldorf.
- TAILLARD, E. D. et al., 1995: A Tabu Search Heuristic for the Vehicle Routing Problem with Soft Time Windows. – Technical Report CRT-95–66, Université de Montréal.
- WOODRUFF, D. L. & ZEMEL, E., 1993: Hashing vectors for tabu search. – *Annals of Operations Research* **41**: 123–137.

Anschriften der Autoren:

Prof. Dr. rer. nat. STEFAN SCHÖF
 Institut für Angewandte Photogrammetrie und
 Geoinformatik, FH Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelmshaven
 Ofener Straße 16/19, D-26121 Oldenburg
 Tel.: +49-441-7708 3323, Fax: +49-441-7708 3336
 e-mail: schoef@fh-oldenburg.de

Dipl.-Ing. EIKE LARS MEYER
 Charlottenstr. 83, D-30449 Hannover
 e-mail: mail@elmeyer.de

Manuskript eingereicht: Mai 2006
 Angenommen: Juni 2006

Tourismus und Geoinformatik: Berührungspunkte

THOMAS BRINKHOFF, ANDREAS GOLLENSTEDE, PETER LORKOWSKI &
JÜRGEN WEITKÄMPER, Oldenburg

Keywords: Geoinformatics, tourism, Web GIS, mobile GIS, data organization, scalable vector graphics

Summary: *Tourism and GeoInformatics: Commonalities.* Tourism becomes a more and more important field for using geographic information systems. This observation holds for stationary, mostly web-based information systems as well as for mobile solutions. The paper presents important features of geospatial tourism information systems like modeling, presentation of content and technical aspects. These characteristics are discussed with the aim to build up an infrastructure that allows generating content for both, stationary and mobile applications. The presented approach has been applied for the development of a digital historic city guide.

Zusammenfassung: Im Bereich Tourismus schreitet der Einsatz von Geoinformationssystemen verstärkt voran. Dies gilt sowohl für stationäre, häufig webbasierte Informationssysteme, als auch für mobile Lösungen. In diesem Beitrag werden wichtige Merkmale von räumlichen Tourismusinformatiksystemen wie ihre Modellierung, die Präsentation von Inhalten und technische Aspekte vorgestellt. Dabei wird das Ziel verfolgt, eine Infrastruktur aufzubauen, die die Generierung von „Content“ sowohl für stationäre als auch für mobile Anwendungen erlaubt. Umgesetzt wurde dieser Ansatz bei der Entwicklung eines digitalen historischen Stadtführers.

1 Einleitung

Der Bereich Tourismus ist aus verschiedenen Gründen für den Einsatz von *Geoinformationssystemen (GIS)* und GI-basierten Anwendungen prädestiniert. Bereits das Wort Reisen deutet auf eine räumliche Komponente hin. Der Reisende hält sich an für ihn unbekanntem und ungewohnten Orten auf. Dort interessiert ihn, wo die nächste Touristeninformation oder Unterkunft ist und welche Sehenswürdigkeiten sich in der Nähe befinden. Dies sind Fragestellungen, die aus dem Bereich der Geoinformatik wohlbekannt sind. Somit hält der Einsatz von Geoinformationssystemen auch in der *Tourismuswirtschaft* Einzug (ZIPF 2002).

Ein *klassischer Reiseführer* in Buchform gibt gute Anhaltspunkte für die Anforderungen an ein touristisches Informationssystem. So enthält dieser als raumbezogene Komponente *Karten* mit touristisch relevan-

ten Inhalten (z. B. Wanderwege, Routen, Sehenswürdigkeiten, Unterkünfte). Zudem sind dort weitergehende *Hinweise* zusammengestellt (z. B. auf die örtliche Tier- und Pflanzenwelt, landestypische Besonderheiten und Bräuche, usw.). Ein weiterer Aspekt betrifft die *Mobilität*. Ein klassischer Reiseführer kann sowohl zu Hause zur Vorbereitung studiert werden, als auch den Reisenden vor Ort Informationen zu ausgewählten Themen geben. Übertragen auf Geoinformationssysteme dient der Reiseführer entweder als *stationäres Informationssystem* oder als mobile Anwendung, die *ortsbasierte Dienste* (engl. *Location-based Services, LBS*) dem Benutzer zur Verfügung stellt.

Dieser Beitrag gibt vor dem Hintergrund praktischer Anwendungen einen Überblick über Systeme und Werkzeuge, die für die Implementierung eines touristischen Informationssystems geeignet sind. Ein am Institut für Angewandte Photogrammetrie und

Geoinformatik (IAPG) entwickelter SVG-Viewer stellt dabei die Kernkomponente zur Visualisierung und Verwaltung raumbezogener Daten dar.

2 Modellierung der Anwendungsdomäne „Tourismus“

Für die Implementierung eines Softwaresystems zur Bereitstellung touristischer Dienste muss zunächst die Domäne Tourismus umfassend analysiert und modelliert werden. Darauf basierend erfolgt dann die eigentliche Datenbank- und Softwareentwicklung. Basis dieser Modellierung sind zunächst die *Anwendungsfälle*, die das System unterstützen soll. Auf dieser Basis können (objektorientiert) strukturelle oder dynamische Aspekte des Systems modelliert werden.

Bei der Modellierung lassen sich zunächst drei grundsätzliche Kategorien finden, anhand derer die Domäne „Tourismus“ systematisch strukturiert werden kann, nämlich *Raum*, *Zeit* und *Thematik* (siehe Abb. 1: Ob-

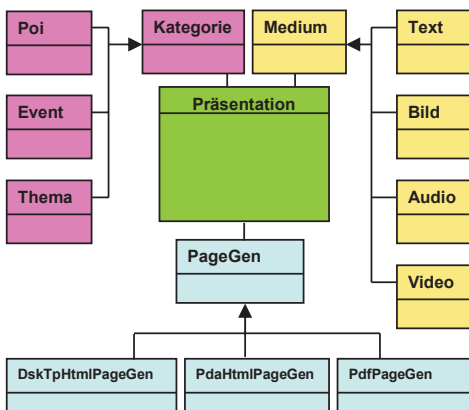


Abb. 1: Aufbau des touristischen Informationssystems.

jektclassen POI, Event, Thema). Gemäß diesen Kategorien kann im System gesucht und navigiert werden. Dabei ist, im Gegensatz zu herkömmlichen Medien, auch die unmittelbare Kombination mehrerer Suchkriterien aus den verschiedenen Kategorien möglich.

2.1 Räumliche Kriterien

Wie in einem herkömmlichen Reiseführer in Buchform darf auch in einem touristischen Informationssystem die Karte, hier entsprechend in digitaler Form, nicht fehlen. In vielen Fällen ist es sinnvoll, eine topographische Karte im Rasterformat als Hintergrundinformation vorzuhalten, die um touristisch relevante Geoobjekte (*POIs – Points of Interest*) als Vektordaten erweitert wird.

Für mobile touristische Anwendungen ist die Integration einer *Echtzeitpositionierung*, etwa per *GPS*, offenkundig äußerst nützlich. Dies gilt umso mehr, da mittlerweile entsprechende Empfangsgeräte sehr kostengünstig verfügbar und dank moderner Schnittstellen wie Bluetooth einfach eingebunden werden können.

2.2 Zeitliche Kriterien

Der Faktor Zeit spielt im Tourismus eine wesentliche Rolle. Schon bei der Urlaubsplanung erfährt der Tourist, dass sich die Preise für einen Urlaub je nach Saison aufgrund der unterschiedlichen Nachfragesituation erheblich unterscheiden können. Aber auch direkt am Urlaubsort ist die Zeit entscheidend für die Planung von Aktivitäten. Der Urlauber möchte wissen, welche Veranstaltungen, Tagestouren usw. in seine Urlaubszeit fallen.

Aus technischer Sicht findet hier eine Verschnaidung verschiedener Zeiträume statt. Die Schnittmenge zwischen dem Urlaubszeitraum und verschiedenen Veranstaltungen zeigt dem Touristen, an welchen Aktionen er teilnehmen kann. Dabei sollten auch komplexere Zeitangaben wie „von März bis August jeweils montags 17:00 – 19:00 h und mittwochs 14:00 – 18:00 h“ unterstützt werden.

2.2 Thematische Kriterien

Die Vielfalt und der Umfang der gespeicherten touristischen Informationen kann so groß werden, dass diese vom Anwender unter Umständen nur noch schwer zu überblicken sind. Um die Informationen dem Nut-

zer besser zugänglich zu machen, ist es unbedingt erforderlich, diese etwa mit Hilfe eines Themenkatalogs zu strukturieren und untereinander zu verknüpfen. Auf diese Weise kann der Anwender gezielt alle relevanten Präsentationen zu einem Thema abrufen.

3 Präsentation

Wie bereits erwähnt, spielen Karten als das Medium zur Visualisierung raumbezogener Daten in einem touristischen Informationssystem eine wichtige Rolle. In digitaler Form kann eine Karte um weitere *Informationseinheiten* angereichert werden. Diese können in unterschiedlichen Varianten auftreten und sind, wie aus Abb. 1 ersichtlich, mit der Objektklasse Medium und den daraus abgeleiteten Klassen Text, Bild, Audio und Video abstrahiert.

3.1 Texte

Die geschriebene Sprache ist auch im Multimedia-Zeitalter noch immer das bei weitem mächtigste Kommunikationsmittel. Innerhalb eines touristischen Informationssystems lassen sich Texte bezüglich ihres Umfangs, ihrer Komplexität und ihres Layouts an verschiedene Ausgabemedien bzw. Zielgruppen anpassen. Eine Strukturierung der Inhalte durch entsprechende Auszeichnungen erlaubt eine solche Differenzierung. Hierzu bietet sich der Einsatz der *Extensible Markup Language (XML)* an.

3.2 Bilder

Ein direkter Eindruck von einem Urlaubsort oder einer Sehenswürdigkeit kann innerhalb eines touristischen Informationssystems sehr gut über fotografische Darstellungen und andere Formen von Bildern vermittelt werden. Innerhalb eines touristischen Informationssystems sind diese Darstellungen mit den jeweiligen POIs verknüpft, so dass hier der räumliche Bezug hergestellt wird. Dieser kann noch verstärkt werden, indem zum Bild auch ein geometrisches Symbol der jeweiligen Aufnahmeperspekti-

ve innerhalb der digitalen Karte dargestellt wird.

Die Auflösung der Bilder hängt vom Ausgabemedium (Desktop/Terminal, Web-Applikation, PDA) ab, wobei ein geeigneter Kompromiss zwischen möglichst hoher Bildqualität einerseits und möglichst geringem Speicherbedarf andererseits gefunden werden muss.

3.3 Ton- und Videodokumente

Das Lesen von längeren geschriebenen Texten auf mobilen Systemen ist zuweilen mühsam. Hier können *Tondokumente* eine sinnvolle Alternative sein. Mit ihnen lassen sich auch umfangreiche Inhalte auf eine ansprechende Art vermitteln. Eine weitere Form der Informationsvermittlung, die einen Sachverhalt anschaulich und ausdrucksvoll präsentiert, sind *Videos*. Ein wesentlicher Nachteil dieser Medien gegenüber geschriebener Sprache ist der pro Informationseinheit erhöhte Speicherbedarf. Moderne mobile Endgeräte sind vom Leistungsvermögen (bei Einsatz entsprechender Komprimierungstechniken) aber durchaus in der Lage, solche audiovisuellen Medien zu präsentieren.

3.4 Die Medien in Kombination

In Abhängigkeit vom verwendeten Endgerät, der Art des zu präsentierenden Inhaltes und natürlich nicht zuletzt den Fähigkeiten und Vorlieben des Benutzers, können jeweils unterschiedliche Darstellungen geeignet sein (SARJAKOSKI & NIVALA 2005). Somit kommt es innerhalb eines Informationssystems darauf an, die Medienelemente entsprechend aufzubereiten und dem Benutzer zu präsentieren. Ein wesentliches Unterscheidungsmerkmal zu herkömmlichen Präsentationsformen ist die Verknüpfung der Informationseinheiten:

- POIs sind mit Präsentationen verknüpft. Diese werden durch Auswahl in der Karte oder, in der mobilen Variante, bei hinreichender Annäherung der aktuellen Position an den jeweiligen POI, aufgerufen.

- Innerhalb von Texten sind *Hyperlinks* eingefügt, mit denen man zu verwandten Themen oder vertiefenden Beschreibungen wechseln kann.
- Von einer Text- oder Bilddarstellung aus kann zur zugehörigen Repräsentation in der digitalen Karte gewechselt werden.

Dem Benutzer werden somit flexible Möglichkeiten gegeben, sich Wissen anzueignen. Die Eigenschaft des menschlichen Geistes, Informationen über Assoziationen zu speichern, wird hier gezielt ausgenutzt.

4 Technische Anforderungen

An ein touristisches Informationssystem werden zahlreiche technische Anforderungen gestellt, um die beschriebenen Funktionen erfüllen zu können.

4.1 Web-Technologie

Im Prinzip muss ein touristisches Informationssystem viele der klassischen GIS-Funktionalitäten bereitstellen. Allerdings sind die Schwerpunkte anders gelagert: Während bei den Benutzern klassischer GIS meist von weit reichender Kompetenz ausgegangen werden kann und die Nutzeranzahl recht beschränkt ist, soll bei einem touristischen Informationssystem eine möglichst große Zielgruppe erreicht werden. Die Benutzerschnittstelle muss entsprechend einfach und intuitiv sein. Die Web-Technologie erfüllt heute die Kriterien, um als Front End für ein solches Informationssystem fungieren zu können (DICKMANN 2005).

4.2 Mobile Applikationen

Mobile Endgeräte wie PDAs verfügen heute über Leistungsdaten, die auch komplexere Anwendungen erlauben. Hochauflösende Displays, leistungsfähige Prozessoren, Lautsprecher, vielfältige Schnittstellen (Bluetooth, WLAN) sind Eckdaten, die weit reichende Möglichkeiten eröffnen. Allerdings ist der Ressourcenbedarf, der bei der Verwaltung und Visualisierung von Vektor- und Rasterdaten auftritt, weiterhin groß. Durch entsprechende Techniken kann aber

die erforderliche Performanz gewährleistet werden (REICHENBACH 2000).

Derzeit befindet sich eine Reihe von technischen Basissystemen auf dem Markt, die es erlauben, mobile GI-Anwendungen zu realisieren. Beispiele hierfür sind ArcPad von ESRI und IntelliWhere von Intergraph. Alternativ hierzu gibt es mobile Visualisierungskomponenten, die auf offenen Standards beruhen. Ein Beispiel hierfür ist der SVG-Viewer, der am IAPG entwickelt wurde (BRINKHOFF & WEITKÄMPER 2005).

Der vom World Wide Web Consortium entwickelte XML-basierte Vektorgrafikstandard *Scalable Vector Graphics (SVG)* (W3C 2003) dient der Visualisierung von grafischen Daten. SVG bietet sich wegen seines rasch zunehmenden Verbreitungs- und Unterstützungsgrades insbesondere auch für die Visualisierung von Geodaten an. Weitere Vorteile von SVG sind die unbeschränkte Skalierbarkeit und die einfache Realisierbarkeit von Objektbezügen.

Der am IAPG entwickelte SVG-Viewer ermöglicht die Darstellung von SVG sowohl auf stationären PCs als auch auf mobilen Endgeräten wie PDAs und TabletPCs. Er besitzt spezifische Erweiterungen, um Anforderungen aus dem Bereichen GIS und LBS zu unterstützen. So kann z. B. die aktuelle Position des Endgeräts deklarativ in SVG aufgenommen und visualisiert werden. Die Darstellung von Sachdaten erfolgt über Datenaustausch mit Web Browsern.

5 Datenorganisation

5.1 Datenmodell

Touristische Informationen findet man in diversen Medien (z. B. in Reiseprospekten, Bildbänden, Reiseberichten, Wanderkarten oder auch im Internet), die von unterschiedlichen Anbietern herausgegeben werden (z. B. von kommunalen, regionalen oder nationalen öffentlichen Einrichtungen oder von privaten oder kommerziellen Anbietern). Somit ist ein wesentlicher Schritt für den Aufbau eines touristischen Informationssystems, heterogene Informationen zu integrieren (PÜHRETMAIR & WÖSS 2001).

Möchte man diese Fülle unterschiedlichster Daten innerhalb eines Informationssystems verwalten, so kann dies sinnvollerweise nur in einer Datenbank erfolgen. Hier können die Informationen redundanzfrei, konsistent und geordnet vorgehalten werden. Ein ganz wesentlicher Aspekt dabei ist, dass die Informationen dabei zunächst weitestgehend unabhängig von unterschiedlichen Präsentationsformen verwaltet werden können. Aus wirtschaftlicher Sicht muss hier natürlich im Einzelfall abgewogen werden, ob sich die „Investition“ in den Aufbau einer solchen Struktur wirklich rentiert. Wesentliche Faktoren bei dieser Frage sind: Die Menge der zu verwaltenden Daten, der Grad, wie sehr die Informationen miteinander verknüpft bzw. verknüpfbar sind, der Grad der zu erwartenden Aktualisierungen der Inhalte sowie die Menge der gewünschten verschiedenen Präsentationsformen.

Die Basis eines solchen touristischen Informationssystems sind die eigentlichen Inhalte, die in unterschiedlichen Medientypen realisiert werden können. Dies werden in erster Linie Texte, Bilder, Audioaufnahmen oder Videos sein. Auch wenn diese eine unterschiedliche Charakteristik besitzen, ist es dennoch sinnvoll, sie innerhalb eines Informationssystems als grundsätzlich ähnlich, oder im Sinne der Objektorientierten Programmierung als Erben einer gemeinsamen Basisklasse (Medium, siehe Abb. 1) zu betrachten. Im Allgemeinen ergibt die Zusammenstellung mehrerer solcher Medien-Einheiten eine Präsentation. Je nach Anwen-

dung (stationärer Desktop, mobiler PDA) sind unterschiedliche Medientypen dafür geeignet. Die unterschiedlichen Präsentationsformen haben, wie die Medientypen, unterschiedliche Ausprägungen, die einerseits eine unterschiedliche Behandlung verlangen, andererseits aber Gemeinsamkeiten haben, die sich in einer gemeinsamen Basisklasse modellieren lassen (Objektklasse PageGen, Abb. 1).

5.2 Automatische Extraktion von Inhalten

Soll ein touristisches Informationssystem in einer Umgebung geschaffen werden, in der bisher überwiegend mit „herkömmlichen Medien“ wie Prospekten oder Reiseführern gearbeitet wurde, so müssen die Inhalte dieser Medien zunächst in eine geeignete digitale Form gebracht werden. Zwar werden diese „herkömmlichen Medien“ meist mit Hilfe von EDV erzeugt, allerdings spielt dabei weniger die Struktur der erfassten Informationen eine Rolle, sondern vielmehr das Layout dieser Informationen (z. B. bei Reiseführern). Zugunsten der besseren Orientierung innerhalb eines solchen „Mediums“ werden für die beschriebenen Objekte (Infrastruktureinrichtungen, Sehenswürdigkeiten, etc.) jeweils eigene Layout-Muster (Schriftart, Schriftgröße, Einrückung, Symboltyp, Anordnung der Symbol-Beschriftung) verwendet. Dieser Umstand kann bei der Migration von Daten in ein touristisches Informationssystem genutzt werden: Anhand des Layouts eines Textes oder Kartenobjektes kann auf seine Klassenzugehörigkeit geschlossen werden. Abb. 2 zeigt, wie ein Modul zur Extraktion von Textinhalten grundsätzlich aufgebaut sein kann.

Je nach Datenquelle muss es innerhalb eines solchen Extraktionsmoduls möglich sein, auch komplexe Formatbedingungen auszudrücken und zu erkennen. Sofern die zu überführenden Informationen einen gewissen Umfang haben und somit die Automatisierung des Migrationsprozesses rechtfertigen, kann auf diese Weise der manuelle Erfassungsaufwand erheblich vermindert werden.

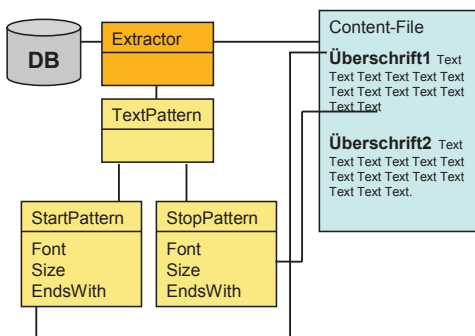


Abb. 2: Formatbedingte Extraktion von Textinhalten.

6 Anwendungsbeispiel Digitaler Historischer Stadtführer

Zwischen Mai und Juli 2005 fand in Oldenburg die Ausstellung „Future TechArt – Zukunft verstehen“ statt, auf der das IAPG zusammen mit der Firma GeoXXL mit einem digitalen *historischen Stadtführer* vertreten war. Unter dem Motto „Geschichte mobil erlebbar“ war es möglich, historische Bilder und Begleittexte zu ausgewählten Bauwerken und Blickwinkeln in der Oldenburger Innenstadt anzuzeigen und diese Informationen mit aktuellen und älteren Karten (Abb. 3) sowie Luftbildern Oldenburgs zu verknüpfen.

Für die Ausstellung wurden auf Basis des zuvor erwähnten SVG-Viewers zwei Versionen entwickelt: eine *stationäre Version*, die auf einem Desktop-PC ausgeführt wurde (Abb. 4) und die während der gesamten

Ausstellungsdauer von den Besuchern genutzt werden konnte, und eine *mobile Version*, die auf mobilen Windows CE. NET-Geräten lief (Abb. 5). An mehreren Ausstellungstagen konnten die mobilen Geräte einschließlich eines GPS-Empfängers von Ausstellungsbesuchern ausgeliehen werden. Der Stadtführer besitzt folgende Funktionalität (vgl. auch Abb. 5):

- Anzeige verschiedener Kartenvarianten,
- Navigation in der Karte,
- Anzeige der aktuellen Position (GPS) (mobile Version),
- Nachführen des Kartenausschnitts entsprechend der aktuellen Position (mobile Version),
- Kartenanzeige von POIs durch Symbole
- Anzeige eines Popup-Bildchens bei Klicken auf ein POI,



Abb. 3: Historische Karten von Oldenburg.



Abb. 4: Stationäre Version des historischen Stadtführers.



Abb. 5: Mobile Version des historischen Stadtführers mit Erläuterung der Interaktionskomponenten.

- Bei Klicken ins Popup: Anzeige der zugehörigen Informationsseite in einem Web Browser,
- Rücksprungmöglichkeit von den Informationsseiten zur Kartendarstellung.

Auf gleicher Software-Basis wurden bzw. werden Informationssysteme zum stadtökologischen Lehrpfad der Stadt Leer, zur Ausstellung „Mehr Licht! Die Geschichte der Energieversorgung Ems-Weser-Elbe“ und ein Campus-Informationssystem für die FH in Oldenburg entwickelt.

7 Zukünftige Entwicklungen

Die Verknüpfung von Tourismus und GI-Anwendungen wird in den nächsten Jahren aller Voraussicht nach weiter zunehmen. Dabei sind verschiedene Entwicklungen zu erwarten:

- Ein Zusammenwachsen von Fahrzeug- und Fußgängernavigationssystemen einerseits und Tourismusanwendungen andererseits.
- Eine verstärkte Kopplung von Tourismusanwendungen mit anderen ortsbezogenen Anwendungen; hierbei wird insbesondere

die Übermittlung von Karten und anderen aktuellen ortsabhängigen Informationen im Vordergrund stehen (SCHILLER & VOISARD 2005).

- Eine Integration von dynamischen 3D-Darstellungen und -Karten in mobile Tourismusanwendungen (SCHILLING et al. 2005).
- Eine verstärkte Unterstützung von speziellen Formen des Tourismus, z. B. Fahrrad- und Öko-Tourismus oder Tourismus in Entwicklungsländern (AYENI et al. 2004).

Danksagung

Wir danken der Stadt Oldenburg und dem Stadtmuseum Oldenburg für die Unterstützung und die Bereitstellung der historischen Dokumente.

Literatur

- AYENI, O. O., SAKA, D. N. & IKWUEMESI, G., 2004: Developing a Multimedia GIS Database for Tourism Industry in Nigeria. – Proceedings 20th Congress of the International Society of Photogrammetry and Remote Sensing, Istanbul.

- BRINKHOFF, T. & WEITKÄMPER, J., 2005: Mobile Viewers based on SVG^{±gso} and XFormsGI. – Proceedings 8th AGILE Conference on Geographic Information Science, Estoril, Portugal: 599–604.
- DICKMANN, F., 2005: Effectiveness and Efficiency of Tourism Map in the World Wide Web and Their Potential for Mobile Map Services. – In: MENG et al., 2005: 43–53.
- MENG, L., ZIPF, A., REICHENBACHER, T. (eds.), 2005: Map-based Mobile Services. – 260 S., Springer, Berlin, Heidelberg.
- PÜHRETMAIR, F. & WÖSS, W., 2001: XML-based Integration of GIS and Heterogeneous Tourism Information. – Proceedings of the 13th International Conference on Advanced Information Systems Engineering, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 2068: 346–358, Springer, London.
- REICHENBACH, U., 2000: Bedarfsgesteuerte Bildübertragung mit Regions of Interest und Levels of Detail für mobile Umgebungen. – 163 S., Dissertation der Universität Rostock.
- SARJAKOSKI, L. T. & NIIVALA, A.-M., 2005: Adaption to Context – A Way to Improve the Usability of Mobile Maps. – In: MENG et al., 2005: 107–123.
- SCHILLER, J. & VOISARD, A. (eds.), 2004: Location-Based Services. – 255 S., Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco.
- SCHILLING, A., COORS, V. & LAAKSO, K., 2005: Dynamic 3D Maps for Mobile Tourism Applications. – In: MENG et al., 2005: 227–239.
- W3C, 2003: Scalable Vector Graphics (SVG) 1.1 Specification, W3C Recommendation 14 January 2003. – <http://www.w3.org/TR/2003/REC-SVG11-20030114/>
- ZIPF, A., 2002: GIS und LBS als Grundlage für moderne Tourismus-Informationssysteme. – Mainzer Geographische Studien, <http://www2.geoinform.fh-mainz.de/~zipf/MainzerGeographStudien.az.pdf>

Anschrift der Autoren:

Prof. Dr. THOMAS BRINKHOFF
 Dipl.-Ing. PETER LORKOWSKI
 Prof. Dr. JÜRGEN WEITKÄMPER
 Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik (IAPG)
 FH Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelmshaven
 Ofener Str. 16, D-26121 Oldenburg
 e-mail: thomas.brinkhoff, peter.lorkowski,
 weitkaemper@fh-oldenburg.de

Dipl.-Ing. ANDREAS GOLLENSTEDE
 GeoXXL Geoinformation Internet Multimedia,
 Haareneschstr. 91, D-26121 Oldenburg
 e-mail: andreas@gollenstede.com

Manuskript eingereicht: Mai 2006
 Angenommen: Juni 2006

Geomarketing – der gläserne Kunde oder Planung des Unplanbaren?

AXEL DE VRIES, Oldenburg/Wilhelmshaven

Keywords: Geoinformatics, marketing, geomarketing

Abstract: *Geomarketing – exposing the customer's needs or predicting the unpredictable?* Geomarketing optimizes the marketing and sales processes by means of geo-spatial analyses. Buying and production departments have, for some time, been under high pressure to deliver efficiency. Recently this has become true also for marketing and distribution. Geomarketing has been identified as one method of improving efficiency using tools such as region planning, penetration analysis and optimisation of advertisement. They have in common the fact that geo-related parameters are the basis for sales decisions which reach customers, gain new ones and achieve customer loyalty. It is obvious that geomarketing is of increasing interest to sales organizations, banks and insurance companies. The future will show whether geomarketing models the right customer, or if customer behaviour can not be described by simple parameters. Depending on expectation, geomarketing either provides a 'transparent customer' or attempts to 'predict the unpredictable'.

Zusammenfassung: Geomarketing beschäftigt sich mit der Optimierung von Prozessen in Marketing und Vertrieb mit Hilfe von raumbezogenen Analysen. Einkauf und Produktion sind schon seit langer Zeit einem starken Effizienzdruck unterworfen, der inzwischen auch Marketing und Vertrieb erreicht hat. Mit Hilfe des Geomarketing soll diese Steigerung der Effizienz bewerkstelligt werden. Die Mittel des Geomarketings sind Gebietsplanung, Penetrationsanalyse oder auch Werbeoptimierung. Allen gemein ist, dass raumbezogene Kennzahlen die Grundlagen für Entscheidungen im Vertrieb sind, um mit möglichst wenig Mitteln viele Kunden zu erreichen, zu gewinnen und natürlich auch langfristig zu binden. Klar ist, dass dem Geomarketing eine wachsende Bedeutung in Handel, Banken und Versicherungen zukommt. Es wird sich in der Zukunft zeigen, ob die Modelle wirklich den richtigen Kunden adressieren oder ob das Kundenverhalten doch nicht in Kennzahlen gepresst werden kann. Je nach Auslegung bleibt dann der „gläserne Kunde“ oder die „Planung des Unplanbaren“.

1 Einführung und Begriffe

Kosten- und Wettbewerbsdruck haben in der Produktion von Waren schon seit langer Zeit ihre Spuren hinterlassen. Jeder Prozess wird rationalisiert und optimiert. In anderen Bereichen eines Unternehmens sind die Maßnahmen nicht immer offensichtlich, aber dennoch präsent. Das Geomarketing soll die Prozesse des Marketings und des Vertriebs unterstützen, also effizienter gestalten. Hierzu gehören Vertriebsplanung im Sinne von „wo“ man tätig wird, aber auch die Planung des Filialnetzes, d. h.: Wie kann der potentielle Kunde mit möglichst weni-

gen Filialen erreicht werden? Letztendlich ist auch wichtig zu wissen, wer und vor allem wiederum „wo“ die eigenen Kunden sind. Nicht zu vergessen: Wo die Kunden der Konkurrenz wohnen, um dort neue Kunden zu gewinnen. Dies fällt alles unter das Stichwort Standortanalyse, die aber noch viel detaillierter durchgeführt werden kann. So kann man analysieren, welche Art von Kunden wo wohnt, so dass Werbung (z. B. Wurfungen) nicht breit gestreut werden muss, sondern je nach Zusammensetzung eines Stadtteils oder Quartiers individuell konfiguriert werden kann. In der Standortplanung für Filialisten kann man neben der

Konkurrenzsituation auch Synergieeffekte untersuchen, so z. B. die Kombination eines Drogeriemarktes mit einem Lebensmittelmarkt.

2 Arten des Geomarketing

Wie schon in der Einführung erwähnt, gibt es verschiedene Anwendungsgebiete für das Geomarketing (vgl. LEIBERICH 1997).

Bei der *Gebietsplanung* geht es im Wesentlichen um die Aufteilung des gesamten Vertriebsgebietes in möglichst effektive Einheiten (vgl. ESRI 2006, S. 17ff). Die Kriterien

für diese Einheiten können verschiedenster Art sein. Beispielsweise kann man durch eine Analyse der Kaufkraft feststellen, wie groß Gebiete sein müssen, damit jede Filiale möglichst die gleiche Menge an Kaufkraft bedient. Bei großen Unterschieden in den Kaufkraftverhältnissen müssen die Gebiete so klein gewählt werden, dass auch Kunden mit geringer Kaufkraft eine Filiale in ihrer Nähe erreichen können.

Auch die einfache Anzahl an Kunden kann ein Parameter für eine Analyse zur Gebietsplanung sein. Abb. 1 zeigt den Standort der Kunden und der potentiellen Kunden als

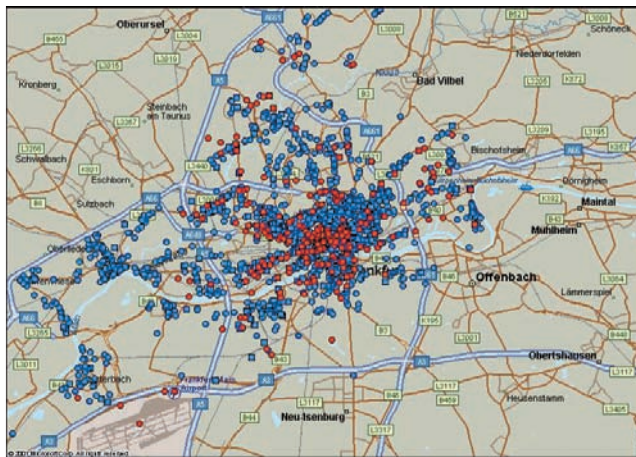


Abb. 1: Standorte der Kunden auf Stadtebene, (<http://www.marktplatz-hotel.de>).



Abb. 2: Standorte der Kunden einer Region, (Quelle: <http://www.marktplatz-hotel.de>).

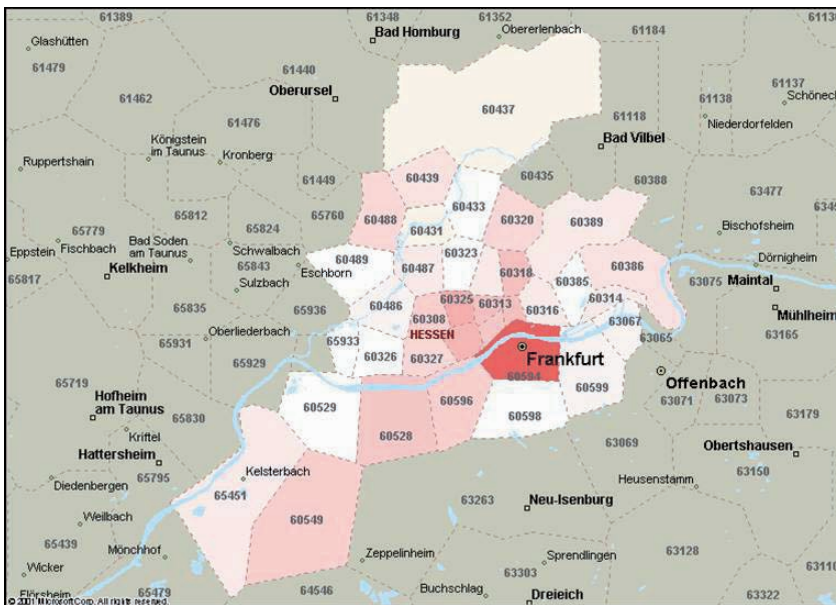


Abb. 3: Umsatzdarstellung, (<http://www.marktplatz-hotel.de>).

Basis für einen Kaufkraft-Analyse zur Definition der Vertriebsgebiete. In Abb. 2 ist diese Darstellung nochmals auf das Gebiet einer Region verfeinert worden.

Natürlich spielt auch die Art des Kunden (z. B. eingeteilt in Zielgruppen) und sein Kaufverhalten eine Rolle. Ein Bau, Verkauf oder eine Vermietung von Luxus-Appartements in einem sozialen Brennpunkt ist sicherlich nicht sinnvoll. Weitere Kriterien für die Standort- oder Gebietsplanung können spätere Erweiterungsmöglichkeiten, Standorte der Konkurrenz, Anbindung an die Verkehrsinfrastruktur (ÖPNV, Autobahnen und Hauptstraßen), Entfernungen zu öffentlichen Einrichtungen sein. Selbst Details wie die Fußgängerfrequenz können in einigen Fällen für die Standortwahl ausschlaggebend sein (vgl. LEUWER & VOSS 2005). In allen Fällen kann man zur Visualisierung Isolinien erzeugen, die eine sprechende Darstellung für diese Gebiete sind.

Eine Penetrationsanalyse untersucht, wie die Kunden im Vertriebsgebiet verteilt sind, d. h. mit welchen Mitteln wie viele Kunden erreicht werden. Im Handel kann dies z. B. auch für einzelne Produkte zur Anwendung

kommen, da hier auch regionale Vorlieben eine wichtige Rolle spielen, siehe Beispiele in Abschnitt 3. Als Fazit einer Penetrationsanalyse können dann Vertriebskräfte an starken Standorten gebündelt oder an schwachen Standorten Werbemaßnahmen verstärkt werden, vorausgesetzt, dass weitere Analysen (z. B. Kaufkraft oder Auslastung) zusätzliches Potential oder Geschäft erkennen lassen.

Neben weiteren Möglichkeiten durch geobezogene Analysen den Vertrieb zu restrukturieren, spielt die Planung der Werbemaßnahmen ebenfalls eine Hauptrolle im Geomarketing. Hier werden wiederum soziodemographische Daten wie Kaufkraft, Kaufverhalten, Alterstruktur und Haushaltsgrößen herangezogen, um gezielt entsprechende Werbung in die Haushalte zu bringen. Anhand von Abb. 3 wird auf den ersten Blick deutlich, wo der stärkste Umsatz generiert wird. Eine detaillierte Auswertung kann dann als Basis für die verschiedenen oben beschriebenen Arten des Geomarketings herangezogen werden. Als Nebeneffekt können solche Darstellungen bei Präsentationen sehr gut verwendet werden.

4 Tatsächliches Kundenverhalten

Wie in vielen anderen Bereichen, die mit Modellen ein Verhalten vorausberechnen wollen, stellt sich auch die Frage, wie gut ein Modell die Wirklichkeit des Kundenverhaltens abbildet.

Es gibt zahlreiche Beispiele, bei denen man feststellt, dass die Planung am Kunden vorbei geht. Im Bankenbereich, der sehr viel Vertrauen des Kunden in seine Berater voraussetzt, ist eine Neuplanung eines Einzugsgebietes einer Geschäftsstelle ein sensibles Thema. Viele Kunden haben kein gutes Gefühl beim Wechsel zu einer neuen Geschäftsstelle oder lehnen den Wandel aus Trotz ab. Für sie ist die optimale Versorgung durch den persönlichen Berater gegeben und erzeugt Unverständnis, wenn hier ein Wechsel verordnet wird. Manchmal ist auch die Verkettung von vielen Ereignissen nicht vorhersehbar, sei es aus emotionalen, politischen oder wirtschaftlichen Gründen. Ein deutliches Beispiel ist die zunächst erfolgreiche Expansion eines dänischen Produktionsbetriebes im Nahen Osten, der durch die Veröffentlichung der bekannten Karikaturen keine Chancen mehr auf dem dortigen Absatzmarkt besitzt. In einer Planung konnte dies nicht vorausgesagt oder gar berücksichtigt werden.

5 Zukunft des Geomarketings

Das Geomarketing hat gerade im Handel eine starke Berechtigung und wird mit dem Aufkommen von detaillierten und verfügbaren Geobasisdaten auch noch stärkere Bedeutung erlangen. Sicherlich werden auch noch andere Bereiche Geomarketing stärker einsetzen, sei es Kommunen für die Bewer-

tung von Geschäftsideen im Rahmen der Wirtschaftsförderung oder die exakte Planung, sprich mikrozellengenau, von Werbemaßnahmen anhand der Kaufkraft und des Kaufkraftverhaltens für Versicherungen oder Finanzprodukte.

Ein Unsicherheitsfaktor wird auch dauerhaft bestehen bleiben, da Eventualitäten und Unwägbarkeiten nicht vorweg in einem Modell berücksichtigt werden können. Letztendlich entscheidet immer noch der Kunde und nicht sein Modell, was er konsumieren möchte.

Literatur

- LEIBERICH, P., 1997: Business Mapping im Marketing. – Wichmann Verlag, 385 S.
- BERNHARDT, U., 2002: GIS-Technologien in der New Economy – Wichmann Verlag, 345 S.
- ESRI Geoinformatik GmbH, 2006: Die Bedeutung von Geodaten für Handel, Banken und Versicherungen. – arcaktuell 01/2006.
- LEUWER, N. & VOSS, H., 2005: GIS hält Einzug in die Bäckerbranche. – Geobit 09/2005, abeverlag GmbH.
- Marktplatz Hotel GmbH, CHD Expert Group, <http://www.marktplatz-hotel.de/>

Anschrift des Autors:

Dipl.-Ing.(FH) AXEL DE VRIES
Ehemaliger Mitarbeiter des IAPG, Oldenburg
jetzt CSC Deutschland Solutions GmbH,
Valoisplatz 2, D-26382 Wilhelmshaven
Tel.: +49-179-531 7221,
Fax: +49-69-133 0495 8968
e-mail: adevries2@csc.com

Manuskript eingereicht: Mai 2006
Angenommen: Juni 2006

Visualisierung und Analyse dynamischer Geodaten am Beispiel von Schiffsbewegungen in begrenzten Fahrwassern

INGRID JAQUEMOTTE, Oldenburg

Keywords: Geoinformatics, 3D computer graphics, visualization, virtual environments, vessel motion

Abstract: *Visualization and analysis of dynamic geographic information, here of vessel motion in restricted waterways.* Nowadays computer graphics provides a great variety of software products for visualizing and analyzing three-dimensional information. Recent developments in the fields of computer games and animation generate new applications in sciences, which are capable to handle both static scenes and dynamic processes in 3D. Examples are aviation, climatology and 3D city modeling.

The following article discusses different ways of visualizing and analyzing dynamic geographical data such as precise measurements of position and orientation of a moving vessel. Different solutions, evaluated within several student projects, will be compared.

Zusammenfassung: Die Computergrafik liefert heute eine Vielzahl von Softwareprodukten zur Visualisierung und Analyse dreidimensionaler Informationen. Jüngste Entwicklungen aus dem Bereich der Computerspiele und Animationen führen auch im wissenschaftlichen Bereich zu neuen Anwendungen, die neben statischen Szenen auch dynamische Vorgänge im 3D-Raum verarbeiten können. Beispiele dafür findet man in der Luftfahrt, der Klimaforschung oder auch in Teilbereichen der 3D-Stadtmodellierung.

Der folgende Beitrag diskutiert verschiedene Möglichkeiten der Visualisierung und Analyse dynamischer Geodaten am Beispiel hochpräziser Messdaten zur Schwimmelage von Seeschiffen. Dazu wurden im Rahmen mehrerer studentischer Projekte verschiedene Lösungsansätze getestet, die hier vergleichend dargestellt werden sollen.

1 Einführung

Als Beispiel für eine komplexe räumlich-zeitliche Fragestellung dienen Naturmessungen zur Schwimmelage eines fahrenden Schiffes. An der Fachhochschule Oldenburg wird seit 1998 das Schwimmverhalten von Seeschiffen im Rahmen verschiedener Forschungsprojekte untersucht. Von Interesse sind dynamische Veränderungen des Tiefgangs und dabei insbesondere das „Einsinken“ eines Schiffes im eigenverursachten Wellensystem, der sog. Squat (REINKING & HÄRTING 2002).

Eine ganze Reihe von Einflussfaktoren für dieses Phänomen wurde bereits identifiziert, primär die Geschwindigkeit und die Unterkielfreiheit des Schiffes, aber auch die Breite eines Gewässers und geomorphologi-

sche Strukturen der Flusssohle. Nicht bekannt ist bisher aber, welche Größe Sohlstrukturen erreichen müssen, um das Squatverhalten von Seeschiffen zu beeinflussen, und welche Rolle spezielle Oberflächenformen der Sohle (z. B. Barren oder Riffel) spielen. Um solche Effekte näher untersuchen zu können, sollen die Bewegungen eines Schiffes über der Flusssohle am 3D-Modell simuliert und analysiert werden. Detaillierte Oberflächendaten für die Fahrrinne sind mit einer Gitterweite von 1–2 m bei den Wasser- und Schifffahrtsbehörden verfügbar. Informationen zu Position und Orientierung des Schiffes werden mit Hilfe spezieller GPS-Verfahren im Sekundentakt und mit cm-Genauigkeit ermittelt. Bisher wurden diese Daten i. d. R. mit Hilfe von Diagrammen ausgewertet, in denen z. B. das Eintauchen des



Abb. 1: Seeschiff auf Revierfahrt.

Schiffes gemeinsam mit der Geschwindigkeit oder der Unterkieflfreiheit dargestellt wurde. Die Unterkieflfreiheit wurde allerdings nicht flächenhaft unter dem gesamten Schiffsrumpf ermittelt, sondern jeweils nur in einem Punkt. Bei einer Schiffsgröße von 200 m × 30 m und mehr sind Rückschlüsse auf die Wirkung unterschiedlicher Sohlstrukturen auf das fahrende Schiff aber nur in begrenztem Maß möglich.

Damit in Zukunft die vorhandenen, detaillierten Messergebnisse in ihrem vollen Informationsgehalt genutzt werden können, sollen Methoden aus der Computergrafik eingesetzt werden. Die ausgewerteten Naturmessungen sollen so aufbereitet werden, dass der Wissenschaftler mit dem dynamischen 3D-Modell interagieren und die natürlichen Abläufe gezielt analysieren kann. Dazu soll weitgehend Standardsoftware eingesetzt und der Programmieraufwand weitestgehend begrenzt werden.

2 Modellierung mit verschiedenen Grafiksystemen

Zunächst wurde ein Anforderungsprofil erstellt, auf dessen Grundlage verschiedene Grafiksysteme vergleichend untersucht wurden. Die folgenden Aufgaben sollten gelöst werden:

- Oberflächenmodellierung der Flusssohle,
- 3D-Modellierung des Schiffes,
- Darstellung der Schiffsbewegungen in Form einer Animation,
- Analysen im 3D-Raum,
- Interaktion am dynamische 3D-Modell.

Aus der Vielzahl unterschiedlicher Grafiksysteme wurden zunächst drei mit sehr unterschiedlichen Zielsetzungen ausgewählt und getestet:

- Anwendersysteme zur 3D-Animation und -Visualisierung,
- ein programmierbares 3D-Grafikpaket,
- ein CAD-System mit Zusatzprogramm zur Geländemodellierung.

2.1 Anwendersysteme zur 3D-Animation und Visualisierung

Getestet wurden *Alias Maya 3D* (inzwischen *Autodesk*) und *Autodesk 3ds max*, beides professionelle Programme zur Erstellung von 3D-Animationen. Grafikprogramme dieser Art werden vor allem zur visuellen Nachbearbeitung von Filmen, für Computerspiele, interaktive Medien, aber auch zur technischen Visualisierung eingesetzt. Sie bieten vielfältige Möglichkeiten zur interaktiven Modellierung, Manipulation und Animation sowie eine hohe Darstellungsqualität.

Das Erzeugen von Oberflächenmodellen aus Einzelpunkten ist zwar grundsätzlich möglich, lieferte aber für die hier verwendeten Flussdaten kein befriedigendes Ergebnis. Eine bereits triangulierte 3D-Oberfläche kann im DXF-Format importiert werden, Schwächen zeigen sich allerdings beim Einlesen der hier anfallenden großen Datenmengen (bis zu 500.000 Höhenpunkte/Flusskilometer). Auch der Einsatz geodätischer Koordinatensysteme wie Gauß-Krüger oder UTM ist problematisch, weil der Modellraum immer auch den Ursprung des Koordinatensystems enthält. Eine gezielte Manipulation des Schiffsmodells auf der Basis gemessener Bewegungen konnte zwar mit Hilfe von Makros realisiert werden, die Erstellung solcher Routinen ist aber aufwändig und wenig benutzerfreundlich. Geometrische Analysen sind in diesen Anwendersystemen generell nicht vorgesehen. Dagegen kann der Benutzer die Ansicht des dynamischen 3D-Modells komfortabel interaktiv steuern. Ein Export als VRML-Datei ist ebenfalls möglich, so dass ein einmal erstelltes dynamisches Modell in einem geeigneten Browser oder Viewer betrachtet werden kann.

Die Stärke von Visualisierungssystemen dieses Typs liegt vor allem in der interakti-

ven Modellierung und Manipulation und weniger in der geometrisch exakten Darstellung und Analyse dynamischer Daten. Die 3D-Modelle für Schiff und Flusssohle sollten daher mit anderen Programmen erstellt werden.

2.2 3D-Grafikbibliothek (OpenGL mit VTK)

Hier wurde das Visualization Toolkit (VTK) gemeinsam mit der Programmiersprache Java eingesetzt. Diese Open-Source-Grafik-Bibliothek stellt leistungsfähige 3D-Modellierungs- und Visualisierungsalgorithmen zur Verfügung. Dazu zählen komfortable Transformationsfunktionen zur präzisen Manipulation von 3D-Objekten (Schiff) sowie Algorithmen zur Berechnung und Darstellung von Animationen in Echtzeit. Die Bibliothek basiert auf OpenGL und bietet dem Nutzer höherwertige Funktionen, die direkt über die jeweils eingesetzte Programmiersprache angesprochen werden können.

Zur Oberflächenmodellierung der Flusssohle steht zwar eine Delaunay-Triangulation zur Verfügung, die Leistungsfähigkeit dieser Routine ist aber auf kleinere Datensätze begrenzt und lieferte für die hier benutzten Testdaten kein zufrieden stellendes Ergebnis. Das Schiff wurde hier stark vereinfacht in Form eines Quaders modelliert. Eine Animation des Schiffes über Grund lässt sich in Echtzeit direkt aus den Positions- und Orientierungsdaten berechnen, wobei die Betrachterposition im dynami-

schen Modell interaktiv angepasst werden kann. Auch die Programmierung von Analysefunktionen wird durch schnelle Grafikroutinen unterstützt, auf die leistungsfähige Sprachen wie C++ zugreifen können.

Grundsätzlich erlaubt dieser „Baukasten“ die Entwicklung eines Analysewerkzeuges für den Squatwissenschaftler, das alle Anforderungen erfüllt. Dazu sind allerdings sehr gute Programmierkenntnisse verbunden mit einem hohen zeitlichen Aufwand erforderlich.

2.3 CAD-System mit Zusatz für die Geländemodellierung

Die Stärke eines CAD-Systems liegt vor allem in der exakten Konstruktion von 3D-Modellen. Moderne Systeme stellen zusätzlich hochwertige Visualisierungstechniken zur Verfügung und bieten die Möglichkeit, eigene Anwendungen in Form von Makros zu entwickeln. Im vorliegenden Projekt wurde MicroStation V8 eingesetzt. Es wurde ergänzt durch das Programm InRoads, das umfassende Funktionen zur Geländemodellierung zur Verfügung stellt und vollständig in die CAD-Umgebung eingebunden wird.

Während das Dreiecksmodell der Flusssohle mit InRoads erstellt wurde, konnte das Schiffsmodell mit MicroStation V8 präzise konstruiert werden (Abb. 2). Die Bearbeitung und Darstellung großer Datenmengen (Flusssohle) wird durch die Software kaum beschränkt, sondern hängt im Wesentlichen von der eingesetzten Hardware

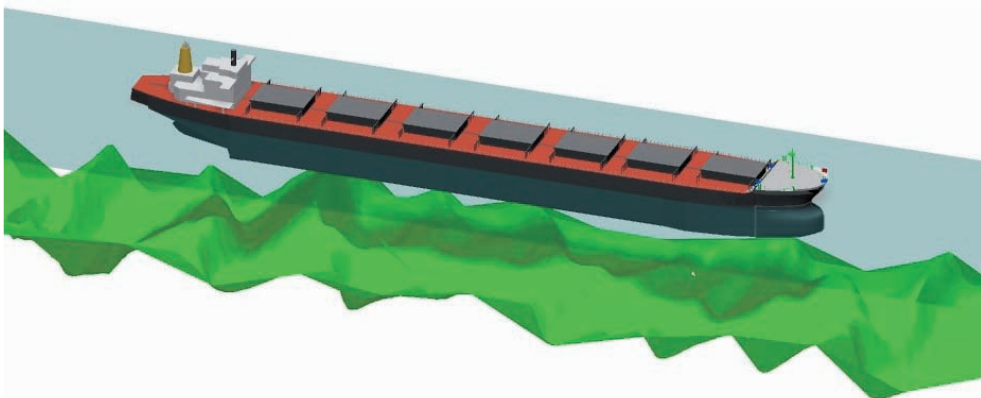


Abb. 2: Nach Originalplänen konstruiertes Schiff im überhöhten Flussmodell.

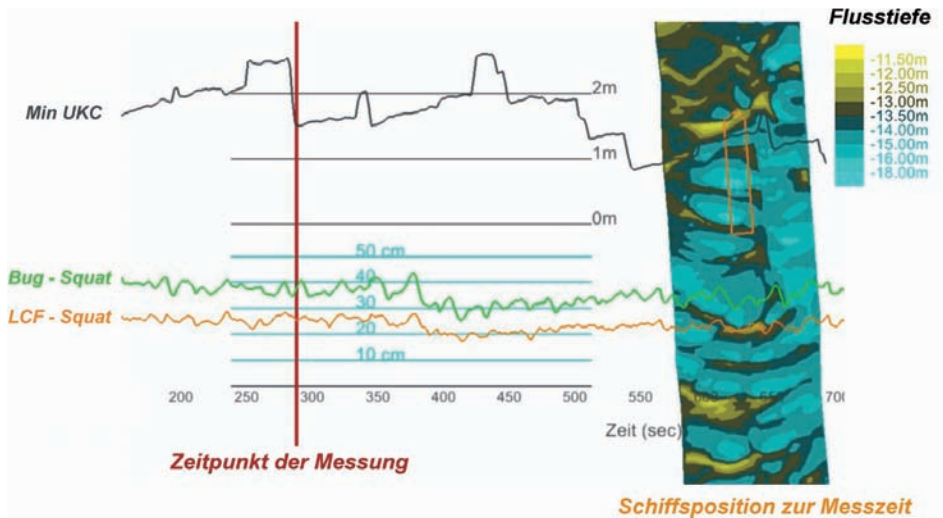


Abb. 3: Animation der Schiffsbewegung im Fluss mit den zugehörigen Squat-Daten.

ab. Die Berechnung der Schiffsbewegungen im Modell wurde auch hier mit Hilfe von Makros realisiert (in diesem Fall Visual Basic für MicroStation), in die viele ProCAD-Funktionen direkt eingebunden werden können. Die Schiffsbewegung wurde in ihrem zeitlichen Ablauf präzise berechnet und animiert, indem für jeden Messzeitpunkt die exakte Schiffslage im Flussmodell als Schlüsselszene generiert wurde.

Zunächst wurde eine perspektivische Ansicht gewählt, in der sowohl Sohlstrukturen als auch Schiffsbewegungen stark überhöht wurden (Abb. 2). An diesem Modell können die Einflüsse verschiedener Sohlstrukturen auf die Schiffsbewegung direkt beobachtet werden. Der Einsatz von Schatten soll dem Betrachter einen besseren Eindruck der Unterkielfreiheit geben.

In einer weiteren Animation (Abb. 3) wurde die Schiffsbewegung im Grundriss dargestellt. Dazu wurde ein stark vereinfachtes Schiffsmodell (eine Ebene, die den Schiffsboden repräsentiert) über einer farb-kodierten Höhendarstellung der Flusssohle bewegt. Synchron dazu zeigt ein Diagramm das Einsinken des Schiffes im Wasserlinienswerpunkt (LCF-Squat) und im Bug (Bugsquat). Diese Darstellung erlaubt Beobachtungen zum Einfluss verschiedener

Sohlstrukturen speziell auf das Einsinkverhalten des Schiffes.

Für ausgewählte Zeitpunkte können punktuelle Messungen direkt im statischen 3D-Modell durchgeführt werden, z. B. zum Abstand zwischen Schiffsrumpf und Flusssohle. Daneben stehen mit InRoads 3D-Analysewerkzeuge aus der Geländemodellierung zur Verfügung, mit denen unter anderem das Wasservolumen unter dem Schiff berechnet werden kann. Eine flächenhafte Bestimmung der Unterkielfreiheit ermöglichen Differenzmodelle zwischen Schiffsrumpf und Flusssohle.

Mit einer Kombination aus CAD-System und Geländemodellierungsprogramm konnten die definierten Anforderungen weitgehend erfüllt werden. Die Entwicklung eines benutzerfreundlichen interaktiven Analysewerkzeuges für Untersuchungen des Squats erfordert allerdings auch hier erheblichen Programmieraufwand.

3 Virtuelle und dynamische Welten

Eine gezielte Beobachtung des Schwimmverhaltens von Seeschiffen am Modell wird erst möglich, wenn der Betrachter die dynamische 3D-Szene aus interaktiv gewählten Betrachterpositionen beobachten kann.

3.1 VRML und X3D

Ein Standard zur Erstellung virtueller Welten ist die Virtual Reality Modeling Language (VRML). Diese Beschreibungssprache orientiert sich stark an HTML, ist textbasiert und plattformunabhängig (ZEPPENFELD 2004). Der endgültige Standard wurde bereits 1997 unter dem Namen VRML97 veröffentlicht und ist immer noch weit verbreitet. Mit Hilfe eines VRML-Browsers kann der Benutzer mit dem 3D-Modell interagieren. Das Format lässt die Zusammenstellung komplexer 3D-Szenen unter Einsatz verschiedener Lichtquellen und Materialien zu. Einzelelemente lassen sich gruppieren und über Szenengraphen gemeinsam weiterverarbeiten. Dynamische Prozesse werden als Animation in die 3D-Welt integriert, wobei Lage, Form oder Farbe einzelner Grafikelemente oder ganzer Gruppen verändert werden können. Der Benutzer löst solche Ereignisse interaktiv aus, z. B. durch einen Mausklick auf ein Element.

Heute sind die meisten 3D-Grafikprogramme in der Lage, ihre Modelle als VRML-Datei exportieren. Sie unterstützen aber leider nur selten alle mit VRML verfügbaren Funktionen. Außerdem werden exportierte Modelle oft unnötig aufgebläht, was die Ladezeiten im Browser erheblich verlängern kann.

Eine Schwäche des ASCII-Formates ist das hohe Datenaufkommen bei komplexeren Szenen, wie sich auch bei der Verarbeitung der Oberflächendaten der Flusssohle

zeigte. Das Web3-Consortium erarbeitet seit einigen Jahren einen neuen Standard, das eXtensible 3D (X3D). Er basiert auf XML (eXtensible Markup Language) und orientiert sich stark am VRML-Standard (FREIWALD & JANYS 2005). Diese Sprache soll erweiterbar sein, der Ressourcenverbrauch soll minimiert werden und trotzdem eine hohe Performanz erlauben. Von besonderem Interesse ist die Unterstützung effizienter Kompressionen unter X3D, die derzeit noch in der Entwicklung steckt. Leider hat sich dieser Standard im praktischen Einsatz noch nicht durchgesetzt.

3.2 Methoden aus der 3D-Stadtmodellierung

In den letzten Jahren wird intensiv am Aufbau virtueller dreidimensionaler Stadtmodelle gearbeitet. Die dabei anfallenden großen Datenmengen haben zur Entwicklung leistungsfähiger Visualisierungstechniken für große Oberflächenmodelle geführt. Solche Modelle erfordern den Einsatz mehrerer Detaillierungsstufen (Level of Detail, LoD), damit Objekte in der Nähe des Betrachters detailliert dargestellt werden können, weiter entfernte dagegen gröber. Nachdem in diesem Bereich zunächst ausschließlich Viewer mit proprietären Datenformaten entwickelt wurden, gibt es inzwischen auch Bestrebungen, 3D-Daten aus unterschiedlichen Quellen über geeignete Web-Dienste gemeinsam darzustellen (KOLBE & GRÖGER 2005). Ein Beispiel dafür ist der Web 3D Service

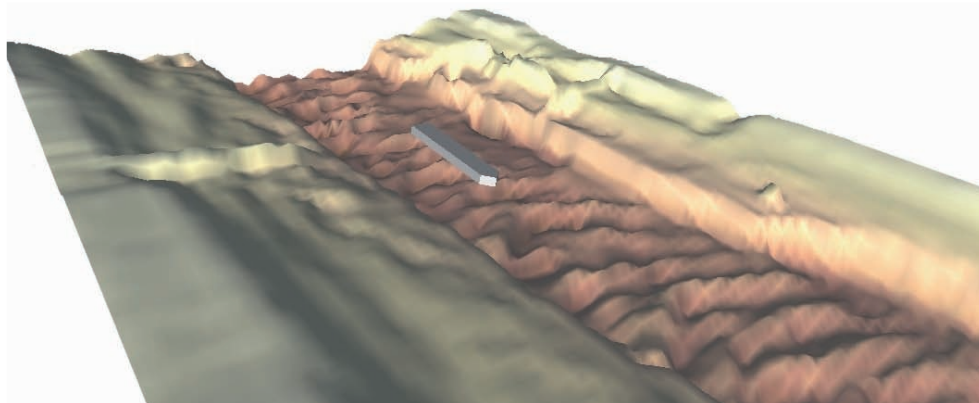


Abb. 4: Screenshot einer virtuellen Welt (VRML97) mit animiertem Schiffsmodell.

(W3DS) der Geodateninfrastruktur (GDI) NRW. Über diesen Dienst können 3D-Szenen des gleichen geographischen Gebietes, die aus unterschiedlichen Quellen bereitgestellt werden, zu einer Gesamtscene kombiniert werden. Im vorliegenden Projekt wird die Flussoberfläche von den Wasser- und Schifffahrtsrichtungen zur Verfügung gestellt, während die Daten zur Schiffsbewegung aus eigenen Messungen generiert werden. Konzepte zur interoperablen Visualisierung ermöglichen künftig auch die Integration weiterer Informationen. Die Verarbeitung dynamischer Prozesse ist allerdings derzeit nicht vorgesehen.

4 Ausblick

Obwohl inzwischen in vielen Bereichen leistungsfähige Systeme zur Verarbeitung und Visualisierung dreidimensionaler Daten oder dynamischer Prozesse zur Verfügung stehen, gibt es bisher kein System, das alle in diesem Projekt definierten Anforderungen erfüllen kann. Eine effiziente Visualisierung stellt nicht nur hohe Anforderungen an die Rechnerleistung, sondern erfordert immer einen mehr oder weniger hohen Programmieraufwand.

Die Verwaltung der hier anfallenden räumlichen Daten verlangt den Einsatz leistungsfähiger Datenbanksysteme. Die Geoinformatik liefert dazu in jüngster Vergangenheit neue Konzepte zur datenbankgestützten Verwaltung komplexer 3D-Stadt- und 3D-Landschaftsmodelle. In diesem Zusammenhang wurden erste 3D-Geoinformationssysteme entwickelt, die auf objektrelationale Datenbanktechnologien zugreifen (NEBIKER 2005). Auch im Bereich der Geodatenbanken werden derzeit neue Methoden zur Verwaltung und Anfrage dreidimensionaler Geoobjekte entwickelt. Neben der Modellierung der Daten spielen hier auch geometrische Algorithmen eine Rolle, wie z. B. die Berechnung von Volumina (BRINKHOFF 2005). Parallel dazu wird die Zeit als eigene Komponente eines Geodatenbanksystems zunehmend integriert. So sollen in dynamischen Prozessen räumliche Abfragen für einen festgelegten Zeitpunkt möglich

werden. Kommerzielle Lösungen stehen derzeit aber noch nicht zur Verfügung.

Für eine gezielte, nutzerfreundliche Analyse und Visualisierung des Schwimmverhaltens von Seeschiffen wird künftig die Verknüpfung einer Geodatenbank mit einem leistungsfähigen 3D-Grafiksystem angestrebt. Damit soll die Verwaltung und Anfrage der Daten erleichtert und gleichzeitig eine hochwertige Visualisierung unter Nutzung aller zur Verfügung stehenden Informationen erreicht werden.

Literatur

- BRINKHOFF, T., 2005: Geodatenbanksysteme in Theorie und Praxis. – Wichmann Verlag.
- FREIWALD, N. & JANY, R., 2005: Dateiformate für vektorbasierte 3D-Geodaten. – In: COORS/ZIPF (ed.): 3D-Geoinformationssysteme. – Wichmann Verlag, Heidelberg.
- JAUQUEMOTTE, I. & REINKING, J., 2005: 4D-Modellierung zur Analyse des Squat von Seeschiffen. – Hydrographie – Vermessung mit Tiefgang. – DVW-Schriftenreihe Band 47/2005.
- KOLBE, H. & GRÖGER, G., 2005: 3D-Stadtmodellierung auf der Basis internationaler GI-Standards. – In: COORS/ZIPF (ed.): 3D-Geoinformationssysteme. – Wichmann Verlag, Heidelberg.
- NEBIKER, S., 2005: Wenn Geodaten fliegen lernen – 3D-Geoinformationssysteme in der Aviatik. – In: COORS/ZIPF (ed.): 3D-Geoinformationssysteme. – Wichmann Verlag, Heidelberg.
- REINKING, J. & HÄRTING, A., 2002: GPS-gestützte Seegangskorrektur hydrographischer Messungen aus Einzelempfänger-Daten. – ZfV, 127, 3/2002.
- ZEPPENFELD, K., 2004: Lehrbuch der Grafikprogrammierung. – Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.

Anschrift der Autorin:

Prof. Dr. INGRID JAUQUEMOTTE
 Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik
 FH Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelmshaven
 Ofener Str. 19, D-26121 Oldenburg
 Tel.: 0441-7708-3322, Fax: 0441-7708-3336,
 e-mail: jaquemotte@fh-oldenburg.de

Manuskript eingereicht: Mai 2006
 Angenommen: Juni 2006

Modellierung der chromatischen Aberration in Bildern digitaler Aufnahmesysteme

THOMAS LUHMANN, HEIDI HASTEDT & WERNER TECKLENBURG, Oldenburg

Keywords: Photogrammetry, digital camera, chromatic aberration, distortion, calibration, accuracy

Summary: *Modeling of chromatic aberration in digital imagery.* Chromatic aberration appears for almost all lenses that are used for digital cameras. It results in visible colour shifts that are most significant with larger imaging angles. The paper deals with the possibility of modeling chromatic aberration for every channel of an RGB colour image. We propose a wave-length dependent camera calibration which yields to a physically proven imaging model. On the one hand, the calibrated parameters can be applied for a colour-corrected resampling of the image. On the other hand, the image coordinates measured in each individual colour channel can be corrected. Up to now, an improvement of the photogrammetric length measurement error cannot be shown. It is subject to further investigations.

Zusammenfassung: Chromatische Aberration existiert für die meisten Objektive, die heute an Digitalkameras eingesetzt werden. Sie macht sich durch sichtbare Farbverschiebungen, insbesondere bei größeren Bildwinkeln, bemerkbar. Der Beitrag befasst sich mit der Möglichkeit, die chromatische Aberration für alle drei in einem Farbbild gespeicherten Kanäle zu modellieren. Dazu wird eine wellenlängenabhängige Kamerakalibrierung vorgeschlagen, die bei geeigneter Konfiguration zu einer physikalisch begründbaren Modellfunktion führt. Die ermittelten Parameter lassen sich zum einen für eine geometrische Farbkorrektur des Bildes verwenden. Zum anderen können die in den einzelnen Kanälen eines RGB-Bildes gemessenen Bildkoordinaten korrigiert werden. Eine positive Auswirkung der Modellierung auf die photogrammetrische Längenmessabweichung lässt sich bisher noch nicht nachweisen und ist weiterhin Gegenstand zukünftiger Untersuchungen.

1 Einführung

Der Beitrag beschäftigt sich mit der Modellierung und Korrektur der chromatischen Aberration in Bildern digitaler Aufnahmesysteme. Ziel der Untersuchungen ist zunächst ein grundlegendes Verständnis der auftretenden Abbildungsfehler, um daraus anschließend ein mathematisches Modell für deren Beschreibung sowie ein Verfahren für die Erfassung und Korrektur der Effekte abzuleiten. Erste Ergebnisse wurden bereits bei HASTEDT et al. (2006) vorgestellt.

Mit der Einführung der ersten höher auflösenden Digitalkameras (Still-Video-Ka-

meras) in den neunziger Jahren standen zunächst nur Schwarz-Weiß-Kameras zur Verfügung, deren Genauigkeitspotential schon früh nachgewiesen worden ist (z. B. PEIPE 1995, SHORTIS & BEYER 1996). Trotz der damals noch zahlreichen technischen Einschränkungen dieser Kameras konnte die volle physikalische Sensorauflösung für die Bildauswertung genutzt werden. Mit der zunehmenden Verbreitung von Digitalkameras im Consumerbereich stieg zum einen die verfügbare Bildauflösung ständig und hat heute bei professionellen Spiegelreflexkameras und digitalen Kamerarückteilen mehr als 20 Megapixel erreicht. Sensoren mit über 40

Megapixel sind bereits angekündigt worden. Zum anderen werden SW-Kameras praktisch gar nicht mehr angeboten, auch wenn sie für messtechnische Zwecke vorteilhaft wären. Im Bereich von digitalen Videokameras mit bis zu 1300×1000 Pixel sind dagegen SW-Sensoren ohne weiteres erhältlich.

Die übliche photogrammetrische Kalibrierung von Aufnahmesystemen erfasst radial-symmetrische Verzeichnung, tangentiale und asymmetrische Verzeichnung (Dezentrierung) sowie Affinität und Scherung des Sensors (Übersicht in LUHMANN 2003). Erweiterte Modellansätze beschäftigen sich z. B. mit der Kalibrierung von Zoom-Objektiven (CRONK et al. 2006), entfernungsabhängiger Verzeichnung (DOLD 1997) sowie bildvarianter Kalibrierung und Sensordeformationen (LUHMANN & TECKLENBURG 2000).

In jüngerer Zeit rücken zunehmend farbabhängige Abbildungsfehler in den Fokus, die in Farbbildern häufig schon mit bloßem Auge erkennbar sind. Hierbei wird vor allem das Ziel verfolgt, neue aberrationsfreie Farbbilder zu erzeugen, z. B. für hochqualitative 3D-Visualisierungen (KAUFMANN & LADSTÄTTER 2005) oder multispektrale Klassifizierungen (SCHWALBE et al. 2006). In der Industriephotogrammetrie geht man dabei eher den Weg, aus einem Farbbild nur einen Kanal auszuwerten, i. d. R. den grünen Kanal oder den Intensitätskanal nach einer IHS-Transformation. Radiometrische und geometrische Effekte, die durch Objektiv und Sensor (z. B. Farbfilter) entstehen, werden hierbei üblicherweise vernachlässigt.

Die chromatische Aberration wird in zwei wellenlängenabhängige Effekte unterteilt.

Während der Farblängsfehler zu unterschiedlichen Brennweiten und Fokusebenen führt, verursacht der Farbquerfehler Maßstabsänderungen in Abhängigkeit des Bildradius (Abstand eines Punktes von der optischen Achse). Ebenso ist die radial-symmetrische Verzeichnung von der Wellenlänge abhängig, da sie im Wesentlichen durch Brechungsänderungen im Objektiv und durch Öffnungsdurchmesser und Position der Blende bestimmt wird.

Dieser Beitrag befasst sich mit Möglichkeiten zur Modellierung, Erfassung und Korrektur der chromatischen Aberration. Es wird weiterhin untersucht, wie sich die ermittelten Korrekturmodelle auf innere und äußere Genauigkeit einer photogrammetrischen 3D-Punktbestimmung im Rahmen von Bündelausgleichungen auswirken.

2 Farbdigitalkameras und Bildsensoren

Ein digitales Farbbild besteht bekanntermaßen aus drei Kanälen in den Grundfarben Rot, Grün, Blau (RGB). Gängige Kameras liefern dabei entweder Bilder im Rohformat, d. h. unkomprimierte Bilddaten in voller geometrischer und radiometrischer Auflösung, oder einem standardisierten Bildformat (TIFF, JPEG), das verlustfreie oder verlustbehaftete Kompressionsverfahren durchlaufen hat.

Farbdigitalkameras arbeiten in der Regel nach einem der beiden folgenden Prinzipien (Übersicht in LUHMANN 2003):

- a) Trennung der RGB-Information durch Farbfiltermasken, die unmittelbar vor der lichtempfindlichen Sensorfläche angebracht sind;

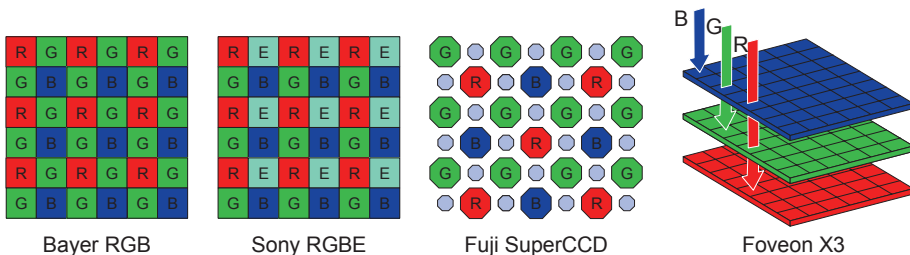


Abb. 1: Layout verschiedener Farbsensoren.

- b) Trennung der RGB-Information in einem Echtfarbsensor, der analog zum analogen Farbfilm drei Halbleiterschichten für je eine Grundfarbe besitzt.

Bei der unter a) genannten Möglichkeit werden Filtermasken eingesetzt, die benachbarte Pixel nur für jeweils einen Wellenlängenbereich sensibilisieren. Die bekannteste Filtermaske ist das sog. Bayer-Muster, das in einer 2×2 -Pixelumgebung ein Pixel für rot, ein Pixel für blau und zwei Pixel für grün aktiviert (siehe Abb. 1). Die verstärkte Betonung für grün ist dadurch begründet, dass das menschliche Auge für gelbgrüne Farben am empfindlichsten reagiert. In jüngerer Zeit werden auch Kameras angeboten, deren Farbfiltermasken für die Grundfarben rot, grün, blau und cyan (Emerald) ausgelegt sind. Neben der regelmäßigen Anordnung von Farbpixeln in Zeilen und Spalten existieren bei den Kameras der Firma Fuji auch Sensoren mit unterschiedlich großen oder diagonal angeordneten Sensorelementen.

Eine ganz andere Technologie wird mit den Foveon-Sensoren angeboten, die über drei übereinander liegenden Farbschichten verfügen. Hierbei erhält jedes Pixel an einer Stelle x, y per se einen eigenen RGB-Wert, so dass das geometrische Auflösungsvermögen dieser Sensoren etwa um den Faktor 2

besser ist als das herkömmlicher Farbsensoren (LYON & HUBEL 2002). Diese Sensoren sind jedoch heute nur bis zu einer Anzahl von 2268×1512 Pixel erhältlich.

3 Optische Abbildungsfehler

3.1 Radial-symmetrische Verzeichnung

Verzeichnung entsteht in praktisch jedem Objektiv durch Brechungsänderungen (Dispersion) an asymmetrisch aufgebauten Linsensystemen sowie durch Einbau einer Blende. Je nach Position der Blende entsteht tonnen- oder kissenförmige radial-symmetrische Verzeichnung; eine zentral angebrachte Blende in einem symmetrisch aufgebauten Objektiv führt zu einer praktisch verzeichnungsfreien (orthoskopischen) Abbildung (siehe Abb. 2). Da Brechungsänderungen wellenlängenabhängig sind, ist somit auch die Verzeichnung eine Funktion der Wellenlänge (Übersicht in LUHMANN 2003).

Neben der radial-symmetrischen Verzeichnung wird der Einfluss nicht zentrierter Linsen durch tangentiale und asymmetrische Korrekturfunktionen erfasst. Abbildungsfehler in der Sensorebene oder durch elektronische Effekte werden mit Parametern für Affinität und Scherung modelliert.

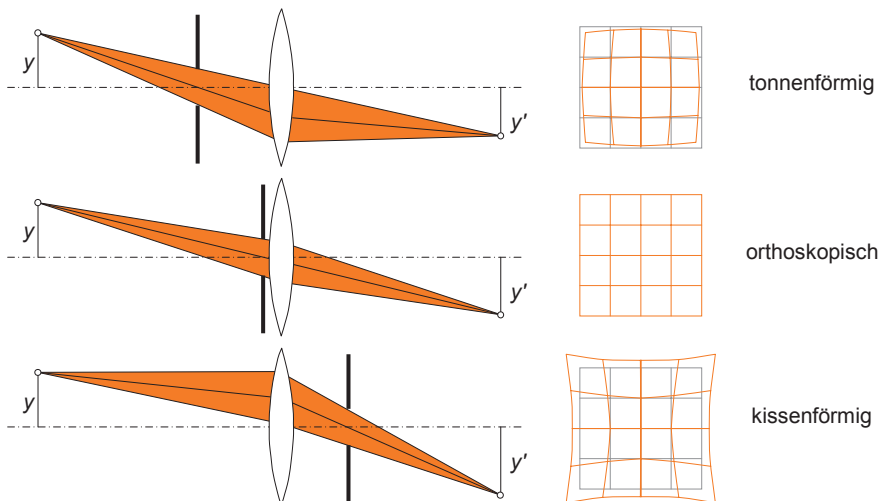


Abb. 2: Radial-symmetrische Verzeichnung in Abhängigkeit der Blendenposition.

Die photogrammetrischen Korrekturpolynome für die radial-symmetrische Verzerrung (A_1, A_2, A_3 bzw. K_1, K_2, K_3) werden üblicherweise im Rahmen einer Bündelausgleichung mit Selbstkalibrierung simultan mit den übrigen Kameraparametern bestimmt. Je nach gewählter Aufnahmeanordnung und Form des Objektpunktfeldes werden die Kameraparameter mit unterschiedlicher Genauigkeit und Zuverlässigkeit bestimmt. Korrelationen zwischen den ermittelten Kameraparametern sind dabei nicht immer zu vermeiden. Sie spielen allerdings nur dann eine Rolle, wenn die kalibrierten Parameter an eine andere Anwendung ohne zugehörige Kovarianzmatrix weitergegeben werden.

In jeder Bündelausgleichung mit Selbstkalibrierung existieren weiterhin numerische Korrelationen zwischen den Parametern der inneren und äußeren Orientierung, deren Größenordnung unter anderem von der gewählten Aufnahmeconfiguration und der verfügbaren Objektinformation abhängt. Sie führen dazu, dass z. B. die Lage des Projektionszentrums im Bildkoordinatensystem (c, x_0, y_0) teilweise durch entsprechende Verschiebung der äußeren Orientierungsparameter X_0, Y_0, Z_0 beschrieben werden kann.

3.2 Chromatische Aberration

Die chromatische Aberration entsteht durch den in den einzelnen Wellenlängen unterschiedlichen Strahlengang durch ein Objektiv. Der *Farblängsfehler* (longitudinale chromatische Aberration) führt dazu, dass jede Wellenlänge einen eigenen Brennpunkt besitzt. Ein abgebildeter weißer Objektpunkt wird im Bild in unterschiedlichen Bildweiten abgebildet, so dass keine optimale Fokussierung möglich ist (siehe Abb. 3). Je nach Qualität eines Objektivs kann dieser Effekt durch unterschiedliche Linsentypen und Beschichtungen reduziert werden. Wird die Abbildungsebene auf eine mittlere Wellenlänge (z. B. grün) gelegt, so entstehen im blauen und im roten Bereich Abbildungsfehler, die im Mittel auf ein Minimum reduziert werden (Übersichten in PEDROTTI et

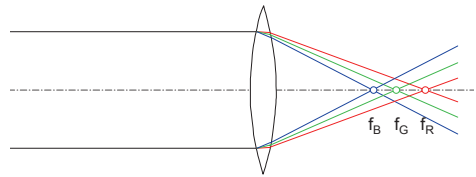


Abb. 3: Farblängsfehler.

al. 2002, SCHRÖDER 1990). So genannte Achromate sind Objektive, deren Aufbau so gestaltet ist, dass die chromatische Aberration unter eine sichtbare Größenordnung fällt.

In der Praxis führt chromatische Aberration zu einer schlechteren Schärfeleistung. Werden die in der Nahbereichsphotogrammetrie üblichen weißen Zielmarken verwendet, führt der Farblängsfehler theoretisch nicht zu einer Verschiebung des Zielmarkenzentrums, da weißes Licht alle Wellenlängen enthält. Wird jedoch mit farbigen, z. B. roten und grünen Zielmarken gearbeitet (siehe z. B. CRONK et al. 2006), werden diese Punkte im Farbbild unterschiedlich stark versetzt abgebildet.

Der *Farbquerfehler* (Farbvergrößerungsfehler oder transversale chromatische Aberration) führt dazu, dass ein Objekt mit unterschiedlichem Abbildungsmaßstab in Abhängigkeit vom Bildradius abgebildet wird. Für monochromatisches Licht entspricht der Effekt der radial-symmetrischen Verzerrung, für polychromatisches Licht führt der Farbquerfehler zu einer radial-wirkenden Farbverschiebung.

Der Effekt kann in digitalen Farbbildern leicht gezeigt werden. Abb. 4a zeigt die mangelnde Abbildungsqualität weißer Zielmarken in einem Farbbild. Deutlich sind Farbfehler an den Kanten der Marken erkennbar, wie sie auch bei jeder anderen Objektkante entsprechend auftreten werden. Abb. 4b zeigt den grünen Kanal mit einer hinreichenden Bildqualität, wie sie für eine photogrammetrische Punktmessung in der Regel ausreicht. Das Differenzbild in Abb. 4c macht die Farbverschiebung zwischen grünem und rotem Kanal deutlich.

Die dargestellte Farbverschiebung wirkt sich in farbkanalabhängigen Funktionen

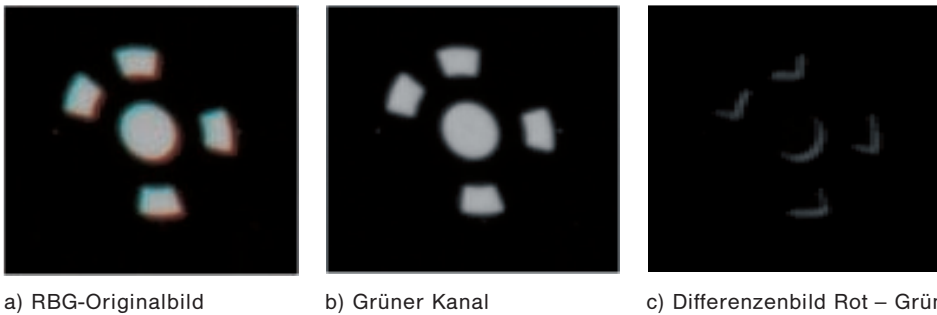


Abb. 4: Farbverschiebung an einer schwarz-weißen Kante.

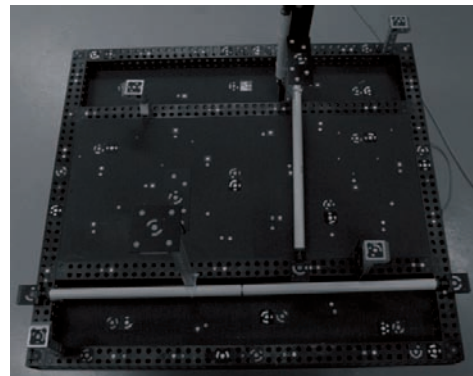
der radial-symmetrischen Verzeichnung aus. Der Effekt wird beispielhaft in Abb. 6 visualisiert. Bei Kenntnis der jeweiligen Farbverschiebung kann das Bild verzeichnungsfrei bzw. aberrationsfrei gerechnet werden. Dazu stehen kommerzielle Näherungslösungen zur Verfügung (z. B. NIKON Capture 4.4 oder Adobe Photoshop CS2). Eine photogrammetrisch fundierte Lösung präsentieren SCHWALBE & MAAS (2006) sowie KAUFMANN & LADSTÄDTER (2005).

4 Untersuchungen

Ziel der folgenden Arbeiten ist zunächst die Erfassung der chromatischen Aberration im Rahmen typischer Testfeldkalibrierungen. Die Versuche werden mit verschiedenen hoch auflösenden Digitalspiegelreflexkameras und verschiedenen Objektiven durchgeführt (Tab. 1). Die Aufnahmen werden an

ebenen sowie an räumlichen Testfeldern erzeugt, für die entweder hinreichend genaue Referenzkoordinaten oder kalibrierte Referenzlängen vorliegen (Abb. 5).

Für die Auswertung werden zunächst Einzelbilder durch Trennung der Farbkanäle erzeugt. In den einzelnen Kanälen sowie in den Farb- und Graustufenbildern erfolgt eine Bildpunktmessung mit anschließender



Tab. 1: Untersuchte Kameras und Objektive.

Kameras	Anzahl Pixel Sensorformat [mm]	Objektive [mm]
Fuji S2 Pro	3040 × 2016 23.3 × 15.6	14, 20, 28
Canon EOS D1 MarkII	4992 × 3328 36.0 × 24.0	35
Nikon D2X	4288 × 2848 23.5 × 15.6	24
Sigma SD10	2268 × 1512 20.7 × 13.8	24

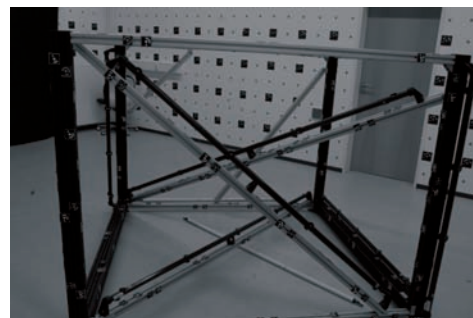


Abb. 5: Ebenes (IAPG) und räumliches Testfeld (AICON).

Bündelausgleichung mit dem Programm 3D Studio (AICON). Diesem Schritt schließt sich eine kombinierte Auswertung der in den einzelnen Kanälen erzeugten Bildmessungen mit dem Bündelausgleichungsprogramm Ax.Ori (AXIOS 3D) an. Die äußeren Orientierungen der drei Kanäle werden hier für jeden Aufnahmestandort festgehalten, d. h. sie werden pro Standort nur einmal bestimmt. Zusätzlich werden 3 Kameras jeweils für R, G und B eingeführt. Die Kameraparameter c , x'_0 , y'_0 sowie A_1 , A_2 , A_3 sind variabel definiert. Die tangential-asymmetrische Verzeichnung (B_1 , B_2) sowie Affinität und Scherung (C_1 , C_2) sind fixiert. Die Datumsfestlegung erfolgt durch freie Netz-

ausgleichung über alle Objektpunkte und ggf. über Maßstabsinformationen.

4.1 Farbabhängige Kalibrierung

Die unterschiedlichen Bildmessungen in den drei Farbkanälen werden zunächst als Vektordiagramme dargestellt. Abb. 6 zeigt beispielhaft für zwei Datensätze die Ergebnisse der Bildmessungen im grünen Farbkanal als Verschiebungsvektoren zu korrespondieren Messungen im roten bzw. blauen Kanal.

Während die Darstellungen der Canon EOS D1 mit 35 mm Objektiv praktisch keine systematischen Effekte zeigen, sind bei der Fuji S2 Pro mit 20 mm Objektiv signifikante

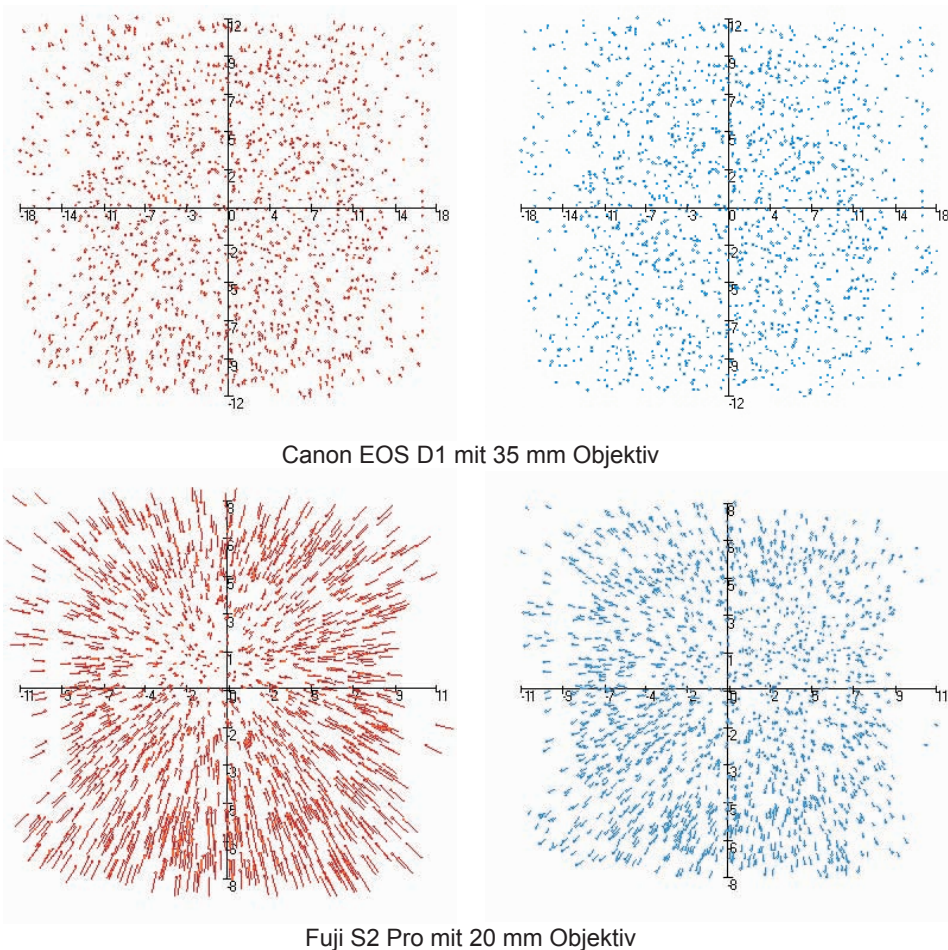


Abb. 6: Vektordarstellung der Bildmessungen in R und B gegenüber G-Kanal.

Tab. 2: Kameraparameter bei kombinierter Auswertung (Auswahl).

Kamerakonstante	c_R	c_G	c_B
Canon EOS D1 mit 35 mm	-33.3337	-33.3299	-33.3309
Fuji S2 Pro mit 20 mm	-20.5739	-20.5557	-20.5468
Bildhauptpunkt x'_0	x'_{0R}	x'_{0G}	x'_{0B}
Canon EOS D1 mit 35 mm	-0.0345	-0.0342	-0.0341
Fuji S2 Pro mit 20 mm	0.2812	0.2818	0.2812
Bildhauptpunkt y'_0	y'_{0R}	y'_{0G}	y'_{0B}
Canon EOS D1 mit 35 mm	-0.0494	-0.0493	-0.0490
Fuji S2 Pro mit 20 mm	-0.2080	-0.2095	-0.2105

radial-systematische Abbildungsfehler erkennbar. Sie können in dieser Form auch für die anderen untersuchten Kameras nachgewiesen werden. Die für den roten Kanal nach außen und für den blauen Kanal nach innen weisenden Vektoren entsprechen der physikalischen Theorie und gehen konform mit der Brennweitenänderung nach Abb. 3.

Die Ergebnisse der kombinierten Auswertung bestätigen ebenfalls die in Abb. 3 angegebenen theoretischen Abhängigkeiten der Kamerakonstante vom Farblängsfehler. Bei allen Datensätzen (Tab. 1), außer der Canon, ergeben sich kürzere c_B als c_R . Die Bildhauptpunktkoordinaten sind für alle drei Kanäle identisch, d. h. die theoretisch wellenlängenunabhängige Lage der optischen Achse wird ebenfalls bestätigt.

4.2 Längenmessabweichung

Die Analyse der ausgeglichenen Objektpunktkoordinaten zeigt eine Verbesserung der inneren Genauigkeit um den Faktor 1.7. Der Wert entspricht etwa $\sqrt{3} = 1.73$ und kann auch dadurch erreicht werden, dass die in nur einem Kanal gemessenen Bildkoordinaten dreifach in die Ausgleichung eingeführt werden. Es handelt sich folglich nur um eine scheinbare Genauigkeitssteigerung.

Die RMS-Werte der Objektkoordinaten liegen je nach Kamera und Objektiv zwi-

schen 0.005 mm (Nikon D2X) und 0.04 mm (Fuji S2) bei einem Messvolumen zwischen ca. $1 \text{ m} \times 1 \text{ m} \times 0.6 \text{ m}$ und $2 \text{ m} \times 2 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$. Das innere Genauigkeitsniveau ist also extrem hoch zu bewerten.

Mit dem bei der Firma AICON vorhandenen 3D-Testkörper kann die ISO-konforme Längenmessabweichung gemäß VDI 2634 bestimmt werden. Die dort vorhandenen Referenzlängen sind mit einer Messunsicherheit von etwa $5 \mu\text{m}$ kalibriert und zertifiziert. Mit einer Nikon D2X und verschiedenen Objektiven (20 mm, 24 mm) wurden Rundum-Bildverbände aufgenommen und nach dem obigen Verfahren ausgewertet. Die ermittelten Längenmessabweichungen liegen bei bis zu 0.1 mm, auch für Auswertungen, in denen nur der grüne Kanal verwendet worden ist.

Entgegen der erhofften Genauigkeitssteigerung ergeben sich keine Veränderungen der erreichten Längenmessabweichung. Berücksichtigt man das ohnehin schon sehr hohe Genauigkeitsniveau der digitalen Photogrammetrie und die Tatsache, dass die Längenmessabweichung 100% aller Messfehler enthält, liegt die Vermutung nahe, dass hier das maximal erreichbare Genauigkeitsniveau bereits erreicht ist.

Der theoretische Grenzwert g_{LME} der Längenmessabweichung einer aus zwei Punkten berechneten Länge, die jeweils die gleiche Standardabweichung s_{XYZ} aufweisen und

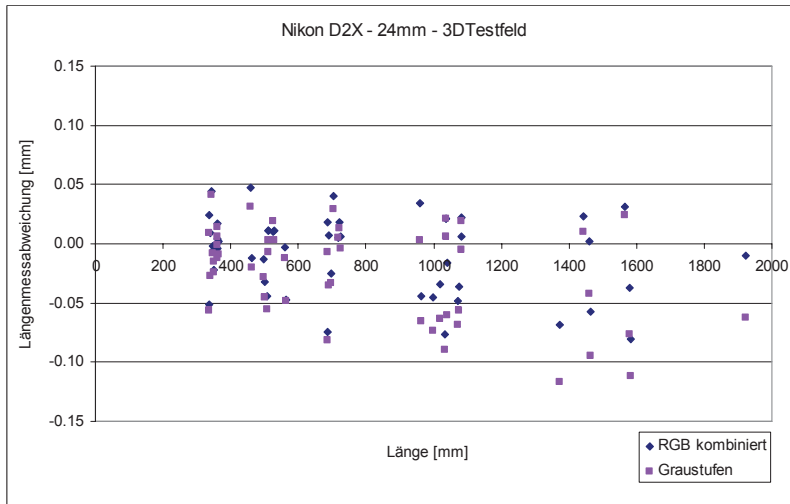


Abb. 7: Diagramm der Längenmessabweichungen für Nikon D2X (24 mm).

mit $3s$ eingehen (Sicherheitswahrscheinlichkeit 99%), ist gegeben durch

$$g_{LME} = 3\sqrt{2} \cdot s_{XYZ} = \sqrt{18} \cdot s_{XYZ}$$

Für das Beispiel eines RMS-Wertes von $s_{XYZ} = 0.02$ mm wird damit ein Grenzwert von $g_{LME} = 0.1$ mm berechnet. Damit werden die praktisch gewonnenen Ergebnisse auch fehlertheoretisch belegt.

5 Zusammenfassung

Grundlage dieser Untersuchung war die Annahme, dass die typische Genauigkeit von professionellen Farbdigitalkameras von ca. 1:100000 (innere Genauigkeit bei signalisierten Bildverbänden, siehe z. B. PEIPE 2005) das vorhandene Potential noch nicht ausschöpft. Bildvariante Kalibrierungen sind in der Lage, während einer Aufnahmeserie auftretende Änderungen der Kamerageometrie zu erfassen (TECKLENBURG & LUHMANN 2000). Die genauere Modellierung der Farbeigenschaften von Kamera und Objektiv lag daher nahe, um die Auswirkungen durch Farbfehler im Objektiv, Farbmasken auf dem Sensor oder kamerainterne Prozessierung genauer zu verstehen.

Die objektivabhängige chromatische Aberration erzeugt signifikant unterschiedliche Bilder in den einzelnen RGB-Kanälen. Der Effekt kann signifikant modelliert werden, wenn in der Bündelausgleichung jeweils drei Kameras für RGB eingeführt werden. Mit Hilfe zusätzlicher Bedingungen für die äußeren Orientierungen dieser Kameras werden die farbabhängigen Kameraparameter entsprechend der physikalischen Theorie bestimmt.

Das ohnehin schon sehr hohe Genauigkeitsniveau bei der Mehrbildmessung signalisierter Punkte wird durch diesen Ansatz nicht signifikant erhöht. Gleichwohl können die ermittelten Kameraparameter für eine exakte geometrische Farbkorrektur eines Bildes genutzt werden.

Literatur

- Cronk, S., FRASER, C.S. & HANLEY, H., 2006: Automatic calibration of colour digital cameras. – The Photogrammetric Record, im Druck.
- DOLD, J., 1997: Ein hybrides photogrammetrisches Industriemeßsystem höchster Genauigkeit und seine Überprüfung. – Schriftenreihe Universität der Bundeswehr München, Heft 54.
- HASTEDT, H., LUHMANN, T. & TECKLENBURG, W., 2006: Zur Nutzung von RGB-Farbkanälen für

- die hochgenaue 3D-Punktbestimmung. – In: LUHMANN (ed.): Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik. – Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2006, Wichmann Verlag, Heidelberg: 112–121.
- KAUFMANN, V. & LADSTÄDTER, R., 2005: Elimination of color fringes in digital photographs caused by lateral chromatic aberration. – XXth International CIPA Symposium 2005.
- LUHMANN, T., 2003: Nahbereichsphotogrammetrie. – Wichmann Verlag, Heidelberg.
- LYON, R. & HUBEL, P., 2002: Eyeing the Camera: Into the Next Century. – IS&T/TSID 10th Color Imaging Conference Proceedings, Scottsdale, Az., USA: 349–355.
- PEDROTTI, F., PEDROTTI, L., BAUSCH, W. & SCHMIDT, H., 2002: Optik für Ingenieure – Grundlagen. – Springer Verlag, Berlin, 846 S.
- PEIPE, J., 1995: Photogrammetric investigation of a 3000 × 2000 pixel high-resolution still-video camera. – ISPRS Intercommission Work-shop „From Pixels to Sequences“, Zürich.
- PEIPE, J., 2005: Entwicklungstendenzen in der digitalen Fotografie. – In: LUHMANN (ed.): Photogrammetrie – Laserscanning – Optische 3D-Messtechnik. – Wichmann Verlag, Heidelberg: 150–155.
- SCHRÖDER, G., 1990: Technische Optik. – Kamp-rath Reihe, Vogel Verlag, Würzburg.
- SCHWALBE, E. & MAAS, H.-G., 2006: Ein Ansatz zur Elimination der chromatischen Abberation bei der Modellierung und Kalibrierung von FishEye-Aufnahmesystemen. – In: LUHMANN (ed.): Photogrammetrie – Laserscanning – Optische 3D-Messtechnik. – Wichmann Verlag, Heidelberg: 122–129.
- SHORTIS, M. R. & BEYER, H. A., 1996: Sensor technology for digital photogrammetry and machine vision. – In: ATKINSON (ed.): Close Range Photogrammetry and Machine Vision. – Whittles Publishing: 106–155.
- TECKLENBURG, W. & LUHMANN, T., 2000: Kameramodellierung mit bildvarianten Parametern und Finiten Elementen – Publikationen der DGPF, Band 9.

Anschriften der Autoren:

Prof. Dr.-Ing. THOMAS LUHMANN
Dipl.-Ing. HEIDI HASTEDT
Dipl.-Ing. WERNER TECKLENBURG
Institut für Angewandte Photogrammetrie und
Geoinformatik
FH Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelmshaven
Ofener Str. 16, D-26121 Oldenburg
Tel.: 0441-7708-3172, Fax: 0441-7708-3170
e-mail: luhmann@fh-oow.de
heidi.hastedt@fh-oldenburg.de
tecklenburg@fh-oldenburg.de

Manuskript eingereicht: Mai 2006
Angenommen: Juli 2006

Dynamische Oberflächenrekonstruktion in Stereobildsequenzen von Hochgeschwindigkeitskameras

THOMAS LUHMANN, AXEL WENDT, Oldenburg & ROBERT GODDING, Braunschweig

Keywords: Photogrammetry, close range photogrammetry, high-speed camera, image matching, images sequence, dynamic scene analysis

Summary: *Dynamic Surface Reconstruction in Stereo Image Sequences from High-speed Cameras.* In automotive industry, an increasing demand on 3D surface reconstruction from high-speed camera images can be observed, e. g. in car safety testing environments. The paper deals with the automatic photogrammetric measurement of free-form surfaces from synchronous stereo and multi-image sequences as they are required for dynamic area-based deformation analysis. Firstly, instrumental solutions for synchronous acquisition of multi-image sequences are discussed. For surface reconstruction different image-based matching methods are evaluated and compared with an object-based matching method based on the FAST Vision principle. For each step of the sequence, a three-dimensional surface model is generated, that can be enhanced to a 4D deformation model with time as fourth dimension. For visual analysis the photogrammetrically oriented image sequences can be resampled to sub-pixel accurate anaglyph movies.

Zusammenfassung: In der Automobilindustrie sind zunehmend flächenhafte 3D-Auswertungen von Hochgeschwindigkeitsaufnahmen für die Analyse in der Fahrzeugsicherheit von Interesse. Der Artikel befasst sich mit der automatischen photogrammetrischen Bestimmung von Freiformflächen aus synchronen Stereo- und Mehrbildsequenzen, wie sie für dynamische flächenhafte Verformungsanalysen benötigt werden. Zunächst werden instrumentelle Lösungsmöglichkeiten für die synchrone Aufnahme von Mehrbildsequenzen diskutiert. Für die Bestimmung der Oberfläche werden verschiedene bildraumbasierte Korrelationsansätze miteinander verglichen. Dem wird ein auf dem FAST Vision-Prinzip basierendes objektraumgestütztes Matchingverfahren gegenübergestellt. Als Ergebnis werden für jeden Zeitpunkt der Sequenz dreidimensionale Oberflächenmodelle gewonnen, die über die vierte Dimension der Zeit zu einem 4D-Deformationsmodell führen. Für die visuelle Analyse lassen sich die photogrammetrisch orientierten Bildsequenzen so umrechnen, dass subpixel-genaue Anaglyphenfilme hergestellt werden können.

1 Einführung

Verschärfte gesetzliche Vorgaben im Fahrzeugsicherheitsversuch erfordern zunehmend die Analyse dreidimensionaler Bewegungen und Veränderungen im und am Fahrzeug und der am Unfall beteiligten Menschen. Die Automobilhersteller sind daher gezwungen, die Fahrzeuge so zu konstruieren, dass zulässige Grenzwerte für dimensionelle Veränderungen eingehalten werden, um einen optimalen Schutz von Fahrzeuginsassen und Unfallbeteiligten zu

gewähren. In diesem Rahmen werden nach verschiedenen europäischen Normen bestimmte Versuchsanordnungen vorgeschrieben, die zum Einen messtechnisch überprüft werden müssen (z. B. beim Fußgängeraufprall, siehe RAGUSE & LUHMANN 2006), zum Anderen reproduzierbare Messergebnisse liefern, die dann zur Analyse des Aufprallversuches dienen. Für beide Aufgaben werden neben zahlreichen anderen Sensoren verbreitet Aufnahmen von Highspeed-Kameras verwendet. Sie werden in vielen Bereichen noch zweidimensional ausgewertet,

zunehmend aber auch dreidimensional durch photogrammetrische Verfahren (KÖLLER et al. 1993, RAGUSE et al. 2004).

Für die photogrammetrische Auswertung von Highspeed-Bildsequenzen stehen verschiedene professionelle Lösungen zur Verfügung, die in der Regel für die Erfassung und Verfolgung von signalisierten Punkten geeignet sind. Als Ergebnis werden 3D-Trajektorien ausgegeben. Kommerzielle Produkte werden z. B. durch FALCON oder Signum angeboten. Sie kombinieren Module zur 2D-Bildsequenzauswertung mit Photogrammetrie-Modulen, die in der Regel von Anbietern photogrammetrischer Industriemesssysteme stammen. Für spezielle Fahrzeuguntersuchungen werden Ein- oder Mehrkameranysteme angeboten (z. B. AICON WheelWatch), die zur schnellen Aufzeichnung von hochdynamischen Vorgängen genutzt werden. Je nach Anordnung (Ein- oder Mehrbildfall) können entweder einzelne Punkte über Vorwärtsschnittverfahren dreidimensional oder die Relativbewegung zweier Starkkörper zueinander in sechs Freiheitsgraden (6DOF) bestimmt werden. Während dabei die Verwendung herkömmlicher Highspeed-Kameras, in Abhängigkeit des verfügbaren Speichers, zu einer maximalen Aufzeichnungsdauer von wenigen Sekunden führt, erlauben echtzeitfähige intelligente Kameras mit kamerainterner Bildauswertung die Aufnahme und Auswertung beliebig langer Sequenzen (WIORA et al. 2004). Diese Fähigkeit ist besonders bei der Messung an Testständen und während Testfahrten vorteilhaft.

Lösungen zur Auswertung von Mehrbildsequenzen für die Rekonstruktion von Freiformflächen existieren ebenfalls auf dem Markt. Sie arbeiten in der Regel mit Verfahren der Stereobildkorrelation, sind also auf zwei Bilder beschränkt, deren perspektive Abbildungseigenschaften nicht zu unterschiedlich sein dürfen. Strenge Matchingverfahren mit Berücksichtigung des vollständigen photogrammetrischen Abbildungsmodells sind aus der Forschung bekannt (z. B. GRUEN & BALTSAVIAS 1988, HEIPKE 1992), werden aber nach Kenntnis der Autoren nicht in kommerziell erhältli-

chen Produkten für die Auswertung von Bildsequenzen angeboten.

Auch im Bereich der Entwicklung von Fahrzeugsicherheitssystemen werden derartige Verfahren bisher erst exemplarisch eingesetzt. Tatsächlich sind die praktischen Probleme bei der Aufnahme der Bildsequenzen bei realen Versuchen insgesamt als sehr schwierig einzustufen. Die Aufnahmeverhältnisse sind oft durch sehr enge bauliche Restriktionen bestimmt, daneben tritt bei der Verwendung von Highspeed-Kameras fast immer auch ein erhebliches Beleuchtungsproblem auf, das aus den extrem kurzen Belichtungszeiten (< 1 ms) resultiert. In verschiedenen Versuchsszenarien kommt es zudem zu weiteren erschwerten Bedingungen durch herumfliegende Teile, Störobjekte und Verdeckungen. Diese Umgebungsparameter führen zu erschwerten Bildzuordnungsbedingungen. Aufgrund der glänzenden Oberflächeneigenschaften wird eine synthetische Struktur aufgebracht. Diese wurde empirisch so gewählt, dass sie unempfindlich gegenüber größeren Beleuchtungsunterschieden korrespondierender Bildbereiche ist.

In einer Zusammenarbeit der Firmen Porsche, AICON und dem IAPG werden zurzeit verschiedene Versuche zur Bestimmung dynamischer Verformungsmessungen mit Highspeed-Kameras durchgeführt. Die Versuche dienen zur Evaluation geeigneter Aufnahmeverfahren, Markierungstechniken und Auswertestrategien, die hinsichtlich Genauigkeit, Verarbeitungszeit und Praxistauglichkeit den Anforderungen des Anwenders genügen müssen. Erste Ergebnisse wurden bei GODDING et al. (2006) publiziert.

2 Mehrbild-Hochgeschwindigkeitsaufnahmen

Dreidimensionale Auswertungen von schnell ablaufenden dynamischen Prozessen (z. B. Strömungsmessungen, Sicherheitsversuche im Fahrzeugbau) müssen in der Regel mit mindestens zwei Kameras aufgenommen werden. Die Synchronisation von zwei oder mehr gleichzeitig aufnehmenden Ka-

meras ist nicht trivial und häufig nur mit hohem technischen Aufwand möglich.

Hochgeschwindigkeitskameras sind heute mit bis zu 1000 Bildern pro Sekunde bei einer Bildauflösung von bis ca. 1500×1000 Pixel verfügbar, z. B. von WEINBERGER, REDLAKE oder NAC. Die Synchronisation von zwei oder mehrerer dieser Kameras muss i. d. R. besser sein als $50 \mu\text{s}$, ist daher technisch aufwendig und in realen Systemen keinesfalls immer garantiert. Demzufolge ist eine schnelle und synchrone Stereo- oder Mehrbilderfassung nur mit hohem finanziellem Aufwand möglich.

Die Aufnahme von Stereobildsequenzen ohne Synchronisationsfehler gelingt mit Ein-Kamera-Lösungen und optischen Strahlteilern (LUHMANN 2005). In einer Kooperation mit den Unternehmen Volkswagen und Porsche wurde dazu ein Prototyp entwickelt, der eine Highspeed-Kamera mit einem optischen Stereovorsatz kombiniert (LUHMANN & RAGUSE 2005). Die Strahlteilung erfolgt über ein Prisma auf zwei Umlenkspiegel, deren Abstand im Wesentlichen die Basislänge festlegt (Abb. 1). Dadurch entstehen zwei virtuelle Kameras, deren ef-

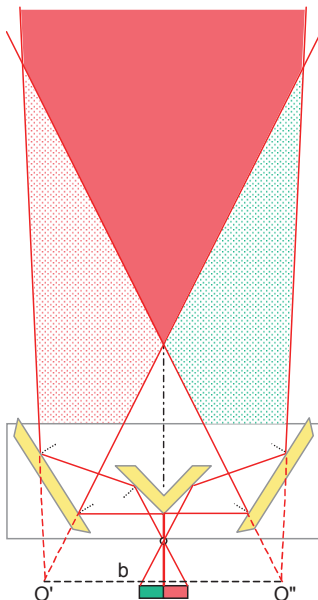


Abb. 1: Abbildungsprinzip einer Spiegelstereokamera.



Abb. 2: Prototyp einer Spiegelstereokamera.

fektive Bildauflösung jedoch um jeweils 50% in horizontaler Richtung reduziert ist. Vorteilhaft ist der reduzierte Kostenaufwand, da nur eine Highspeed-Kamera verwendet zu werden braucht. Nachteilig auf die Messgenauigkeit wird sich ein eventuell verkürzter Basisabstand bzw. die auf die Hälfte reduzierte Bildauflösung auswirken. Es wurde bereits gezeigt, dass der optische Aufbau hochgenau kalibriert werden kann, nach Bedarf auch mit einer Modellierung etwaiger unebener Spiegelflächen (LUHMANN & RAGUSE 2005).

Das in Abb. 2 dargestellte Prototypensystem besitzt eine virtuelle Basis von ca. 325 mm. Damit konnten absolute Genauigkeiten von 0.3 mm senkrecht zur Aufnahmerichtung und 2 mm in Aufnahmerichtung in einem Messvolumen von ca. $1.2 \text{ m} \times 1.2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ erreicht werden. Damit werden die Genauigkeitsanforderungen im Bereich der Fußgängerschutztests erreicht. Weitere Varianten des Systems für andere Anwendungen und Messvolumina sind derzeit in der Entwicklung. Eine Serienproduktion ist in Vorbereitung.

Für die hier behandelte Untersuchung wurde ein Testobjekt von ca. $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ Ausdehnung einer dynamischen Belastung unterzogen. Aufgenommen wurde der Versuch gleichzeitig mit drei Kamerasystemen:

- zwei synchronisierten NAC HiDCam Kameras (760×512 Pixel, Bildfrequenz 1000 Hz, Brennweite 12.5 mm),

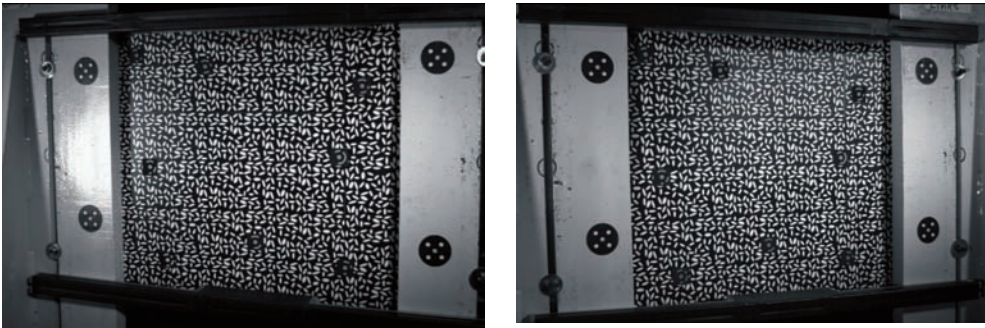


Abb. 3: Bildpaar einer Stereosequenz (NAC HiDcam).

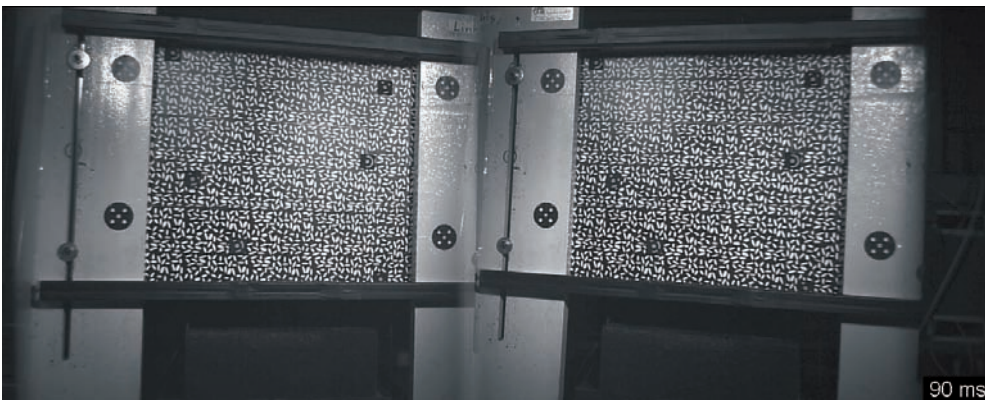


Abb. 4: Originalbild mit Stereostrahlteilung.

- drei synchronisierten Weinberger Visario Kameras (1536×1024 Pixel, Bildfrequenz 1000 Hz, Brennweite 25 mm),
- Spiegelstereovorsatz mit Weinberger Motionfire Kamera (640×512 Pixel pro Bildhälfte, Bildfrequenz 1000 Hz, Brennweite 12.5 mm).

Alle Aufnahmesysteme werden mit Hilfe des Programmsystems AICON 3D Studio kalibriert und orientiert. Dazu wurden für die Kameras nach der Ausrichtung mittels eines dreidimensionalen CFK-Referenzfeldes mit bekannten 3D-Koordinaten die inneren und relativen Orientierungen bestimmt. Zur Kontrolle wurden die am Objekt vorhandenen Punkte gemessen, wobei das erreichte Genauigkeitsniveau etwa bei 0.5 mm als RMS-Werte der Objektpunkte lag.

Abb. 3 und Abb. 4 zeigen beispielhafte Ausschnitte der aufgenommenen Bildse-

quenzen. Das auf der Oberfläche sichtbare Muster wird in Kap. 4 erläutert. Die am linken und rechten Bildrand erkennbaren Fünf-Punkt-Marken befinden sich auf festen Betonklötzen und definieren ein ortsfestes Koordinatensystem. Die auf der Oberfläche befindlichen codierten Messmarken dienen zur automatischen Orientierung sowie als Kontrollpunkte zur Verifizierung der erreichten Messergebnisse.

3 Umbildung von Stereobildsequenzen

Wenn die inneren und äußeren Orientierungen der aufgenommenen Messbilder vorliegen, lassen sich die Originalbilder umbilden in

- a) verzeichnungsfreie Bilder,
- b) Stereonormalbilder,
- c) Anaglyphenbilder.

3.1 Verzeichnungsfreie Bilder

Mit gegebenen Parametern der inneren Orientierung lassen sich hauptpunkt-korrigierte und verzeichnungsfreie Bilder berechnen. Die Bilder werden dabei so transformiert, dass der neue Bildhauptpunkt die Bildkoordinaten (0/0) erhält und exakt im Zentrum der neuen Bildmatrix liegt. Die Verzeichnungskorrektur erfolgt für jedes Pixel rekursiv (LUHMANN 2003, S. 127). Das verzeichnungsfreie Bild hat die Kamerakonstante des Originals, alle anderen Kameraparameter sind Null. Damit ist das Modell einer Lochkamera realisiert.

Verzeichnungsfreie Bilder werden für Programmsysteme benötigt, die selbst keine Möglichkeit zur Verzeichnungskorrektur besitzen, oder nach einem nicht näher beschriebenen Korrekturmodell arbeiten.

Sie können weiterhin für eine schnellere und effizientere Bilddatenverarbeitung genutzt werden.

3.2 Stereo-Normalbilder

Der Stereonormalfall ist eine theoretische Aufnahmeconfiguration mit zwei senkrecht zur Basis ausgerichteten Bildern. Die Bilder besitzen dieselbe Kamerakonstante, Hauptpunkt-lage und Verzeichnungswerte sind

Null. Beim Stereonormalfall liegen Epipolarlinien stets parallel zur x' -Achse des Bildkoordinatensystems auf gleichen y' -Werten. Die Suche nach korrespondierenden Bildpunkten beschränkt sich daher auf die Zuordnung in einzelnen Bildzeilen bzw. einen schmalen Band aufgrund kleiner Abweichungen der Orientierungsdaten oder Bildmessungen. Perspektivische Verzerrungen des Objektes treten ebenfalls nur in x' -Richtung auf. Die Normalbilder stellen damit eine weitere Stufe eines optimierten Zugriffs auf die Bilddaten dar.

Die Umrechnung erfolgt nach dem in Abb. 5 dargestellten Prinzip. Die Parameter der relativen Orientierung liegen nach dem Prinzip der unabhängigen Bildpaare vor, d. h. die x -Achse des Modellkoordinatensystems xyz verläuft durch die beiden Projektionszentren. Die neuen Bilder besitzen die (virtuellen) Bildkoordinatensysteme x'_n, y'_n, c_n bzw. x''_n, y''_n, c_n und die gemeinsame Kernlinie k . Jeder Bildpunkt (x'_n, y'_n) bzw. (x''_n, y''_n) wird mit Hilfe der Kollinearitätsgleichungen in die ursprünglichen Bildkoordinaten zurückgerechnet und der dort vorliegende Grau- oder Farbwert im neuen Bild abgespeichert.

Die entzerrten Normalbilder besitzen im Modellkoordinatensystem keine räumli-

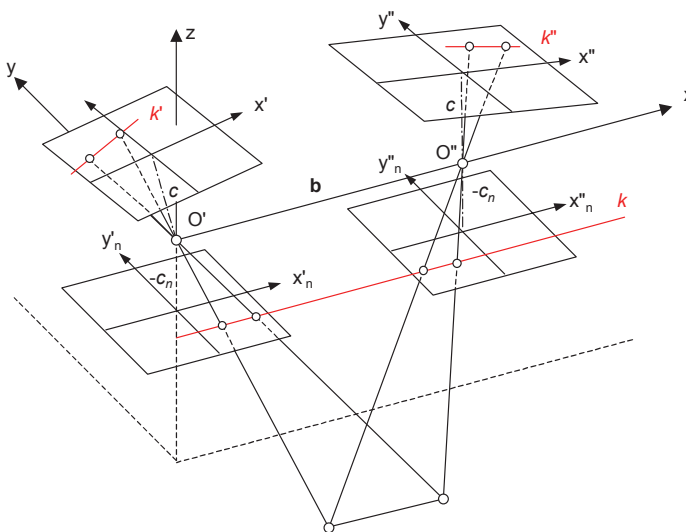


Abb. 5: Prinzip der Umbildung eines Stereobildpaares in Normalbilder.

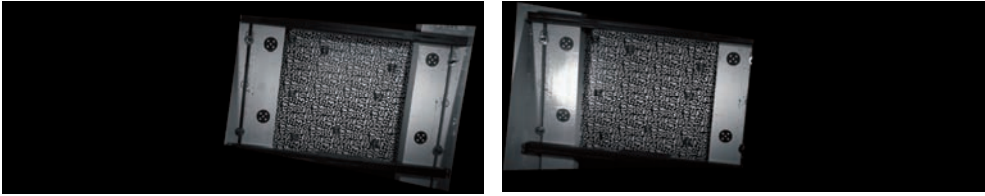


Abb. 6: Normalbilder.

chen Drehungen. Die Drehmatrizen der Normalbilder \mathbf{R}_n im übergeordneten Koordinatensystem werden aus der Drehmatrix \mathbf{A} der relativen Orientierung und der Drehmatrix \mathbf{R} des Originalbildes berechnet nach:

$$\mathbf{R}_n = \mathbf{R} \cdot \mathbf{A}^T$$

Die Translationen der äußeren Orientierungen bleiben erhalten.

Die Entzerrung der Bilder zu Normalbildern kann bei größeren Konvergenzwinkeln zu Ergebnisbildern mit größeren informationslosen Bereichen führen (siehe Abb. 6). Die Bilder können auf das ursprüngliche Bild zugeschnitten werden, wenn die entsprechende Hauptpunktverschiebung gespeichert wird.

3.3 Anaglyphenbilder

Für die Betrachtung von Stereoaufnahmen stellt das Anaglyphenverfahren ein einfaches Verfahren dar, das auf Grauwertbilder beschränkt ist. Eine optimale Stereobetrachtung ergibt sich dann, wenn die entste-

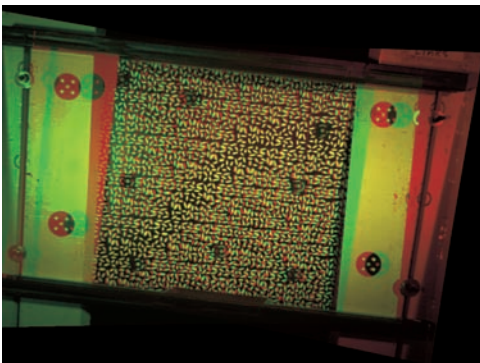


Abb. 7: Anaglyphenbild.

henden Parallaxen parallel zur Augenbasis verlaufen, d. h. wenn Stereonormalbilder nach Kap. 3.2 vorliegen. Abb. 7 zeigt das Bildpaar aus Abb. 3 umgerechnet als Anaglyphenbild. Wenn alle Bilder der Sequenz nach diesem Verfahren umgebildet werden, lässt sich der aufgenommene Prozess als stereoskopischer Film abspielen und betrachten.

4 Oberflächenrekonstruktion

4.1 Oberflächentextur

Im Automobilbau sind die meisten vorkommenden Oberflächen texturlos, d. h. sie müssen in der Regel mit einer künstlichen Textur versehen werden. Für die Messung statischer Oberflächen werden heute fast ausschließlich Streifenprojektionsverfahren eingesetzt. In speziellen Fällen werden auch Rasterprojektionsverfahren, elektrolytische Markierungsverfahren oder Zufallmusterbasierende Methoden eingesetzt, die auch für dynamische Anwendungen geeignet sind. In diesem Fall werden Korrelationsverfahren mit künstlich aufgebrachtener Textur betrachtet.

Da für die Aufnahme hoher Bildfrequenzen mit Highspeed-Kameras häufig nur wenig Licht bereitgestellt werden kann, eignen sich nur kontrastreiche Muster. Sie sollten darüber hinaus Gradienteninformation in allen Richtungen aufweisen und der gewünschten Objektauflösung angepasst sein. Für Matchingverfahren, die mit Bildpyramiden arbeiten, muss das Muster außerdem noch eine eindeutige Zuordnung in unterschiedlichen Skalen erlauben.

Das in den Abb. 3 verwendete Muster besitzt hohe Kontraste und Gradienten in allen

Richtungen. Die verwendeten Ellipsen dienen dabei nicht zur Einzelpunktmessung und könnten auch durch ein anderes Muster mit entsprechenden Eigenschaften ersetzt werden.

4.2 Stereobildzuordnung

Stereobildzuordnung auf Basis der normierten Kreuzkorrelation ist eine seit langem bewährte Methode zur Oberflächenmessung (z. B. PIECHEL 1991). Sie zeichnet sich durch hohe Robustheit, Kontrastunabhängigkeit und einfache Implementierung aus. Die Ähnlichkeit zwischen zwei Bildausschnitten (Stichproben) wird durch den Korrelationskoeffizienten der beiden Grauwertstichproben gemessen. Die Nachteile des Verfahrens liegen vor allem in der begrenzten Möglichkeit, geometrische Unterschiede, z. B. durch Drehungen oder perspektive Abbildungen, zu modellieren. Die normierte Kreuzkorrelation ist stets auf zwei Bilder beschränkt.

Zur Berechnung von 3D-Oberflächenpunkten durch korrelierte Bildpunkte gibt es verschiedene Strategien. Ausgehend von Näherungskoordinaten im Objektraum lassen sich die 3D-Koordinaten alternativ bestimmen durch

a) Räumlichen Vorwärtsschnitt

Aus den im linken und rechten Bild gefundenen homologen Punkten werden mittels räumlichen Vorwärtsschnittes die Objektkoordinaten bestimmt. Die Methode eignet sich nicht direkt, wenn im Objektraum ein Oberflächenraaster mit konstanten (vorgegebenen) XY-Koordinaten bestimmt werden soll, also nur ein neuer Z-Wert pro Punkt gesucht wird. Der Vorwärtsschnitt führt dagegen zu neuen Koordinaten in allen drei Richtungen.

b) Vertical Line Locus

Ausgehend von einer gewählten X,Y Position im Objektraum wird eine Vertikale in Z-Richtung gebildet. Entlang dieser Richtung werden, ausgehend von einem Näherungswert in Z, mit einem bestimmten Inter-

vall in beiden Richtungen neue Z-Werte bestimmt. Für jeden Z-Wert werden mittels der Abbildungsgleichungen die zugehörigen Bildkoordinaten in den Stereobildern berechnet und die zugehörigen Bildbereiche miteinander korreliert. Der gesuchte Z-Wert entspricht der Position entlang der Vertikalen mit der höchsten Korrelation. Das gewählte Z-Intervall kann iterativ verkleinert werden, so dass ein hierarchischer Ansatz entsprechend einer Bildpyramide entsteht. Da die XY-Werte dabei nicht verändert werden, kann unmittelbar ein Punktraster mit konstantem Punktabstand bestimmt werden.

Beide Strategien lassen eine Verfeinerung des Matching mit Hilfe einer Lösung nach der Methode der Kleinsten Quadrate zu. An den durch Kreuzkorrelation gefundenen Bildpositionen kann das Verfahren des Least-Squares-Matching (GRUEN 1985) angewendet werden, das im Rahmen einer Ausgleichung eine affine geometrische und radiometrische Anpassung der Bildausschnitte vornimmt. Das Verfahren kann durch Epipolarbedingungen und beliebig viele Bilder erweitert werden (GRUEN & BALTSAVIAS 1988).

4.3 Objektraumbasierte Mehrbildzuordnung

Das durch die Arbeiten von WROBEL (1987) und WEISENSEE (1992) unter dem Begriff Facetten-Stereosehen (FAST Vision) bekannte Verfahren betrachtet als Grundlage die physikalische Formulierung der Bildentstehung. Mit dem Ansatz wird der Bezug der Bildpunkte bzw. -strahlen ausgehend von ihrer Sensorposition zu ihren Oberflächenelementen invers beschrieben. In der Formulierung dieser physikalischen Beziehung können grundsätzlich beliebige Abbildungsgeometrien oder auch Reflexionsmodelle berücksichtigt werden. Als Unbekannte sind in der Regel der radiometrische Grauwert und der geometrische Höhenwert des Oberflächenelementes zu schätzen. Die Schätzung erfolgt nach der Methode der Kleinsten Quadrate im Gauß-Markov-Modell. Dabei werden iterativ ein Grauwert-

und Geometriemodell bestimmt, welches i. d. R. durch ein Raster beschrieben wird. Die Fläche zwischen den Rasterstützstellen wird mit einer Interpolationsfunktion beschrieben, i. d. R. bi-linear. Das ausgeglichene radiometrische Modell entspricht einem Orthophoto des Objektes, welches aus allen zur Verfügung stehenden Bildinformationen ermittelt wurde. Das Verfahren kann grundsätzlich auf zwei oder mehr Bilder und/oder Spektralkanäle angewendet werden.

Die Methode wurde in den letzten Jahren am IAPG weiterentwickelt (WENDT et al. 2004), insbesondere auch die Berücksichtigung von weiteren Objektinformationen wie Punktwolken (WENDT 2002). Die Vielseitigkeit des Ansatzes zeigt sich dadurch, dass er unter anderem auch für die Rekonstruktion der Mars-Oberfläche eingesetzt werden kann (GEHRKE et al. 2006). Der besondere Vorzug des Verfahrens ist die simultane Rekonstruktion des gesamten Oberflächenbereiches. So können unter anderem texturlose Bereiche durch Implementierung von Bedingungsgleichungen überbrückt, oder auch eine Krümmungsminimierung relativ zur Nachbarschaft erreicht werden. Ein Nachteil des Verfahrens ist, dass durch die angesprochene Vorgehensweise in der Prozessierung ein großes Normalgleichungssystem zu lösen ist, welches zwar von der Größe und Auflösung des Oberflächenrasters abhängt, dennoch einen hohen Rechenaufwand darstellt. Abhilfe wird durch eine optimierte Inversion der entstehenden Bandmatrixstruktur erreicht.

4.4 Flächenverformung in der Bildsequenz

Für die Erfassung einer dynamischen Flächenverformung sind unterschiedliche Strategien und Verfahren denkbar:

- a) In jeder Epoche werden unabhängig voneinander Oberflächenmodelle gemessen. Dabei kann das Modell der Epoche $k-1$ als Näherungsmodell für die Epoche k verwendet werden. Wird ein konstantes XY-Raster vorgegeben, werden die Deformationen ausschließlich in vertikaler Richtung bestimmt.
- b) Wie a), jedoch werden die in Epoche 0 erhaltenen Oberflächenpunkte jeweils so in die nächste Epoche übertragen, dass jeweils der physikalische Oberflächenpunkt durch die Bildsequenz verfolgt wird. Dazu wird das Bildmuster eines Punktes im linken Bild durch Korrelation in das linke Bild der folgenden Epoche übertragen. Die ermittelten Deformationsvektoren verlaufen damit in beliebiger Richtung entsprechend der Punktbewegungen im Raum.

4.5 Ergebnisse

4.5.1 Oberflächenmodellierung

Die folgenden Abbildungen zeigen eine Auswahl berechneter Oberflächenmodelle aus der Vielzahl inzwischen erstellter Ergebnisse. Beispielhaft wird eine Folge von 100 Bildpaaren aufgenommen mit zwei NAC HiDcam (siehe Kap. 2) ausgewertet. Die Pixelauflösung am Objekt beträgt 1.2 mm. Der ausgewertete Objektbereich umfasst eine Fläche von 450 mm × 450 mm bei einer Rasterweite von 10 mm.

Abb. 8 zeigt Ausschnitte aus der Sequenz berechneter Oberflächenmodelle mit festem Punktraster. Das Objekt liegt in einem Winkel von ca. 10 Grad geneigt zur XY-Ebene. Während des Verformungsprozesses beult es sich in der Mitte aus. Die maximale Höhenänderung beträgt ca. 44 mm und tritt zwischen den Epochen 30 und 45 auf.

Für die visuelle Analyse ist es hilfreich, wenn die Deformation als räumlich animier-

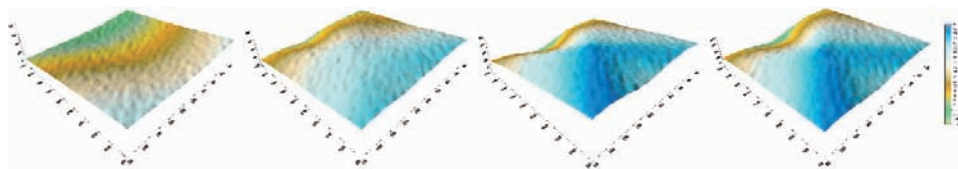


Abb. 8: Oberflächenmodelle der Epochen 0, 15, 30 und 45 (festes Punktraster).

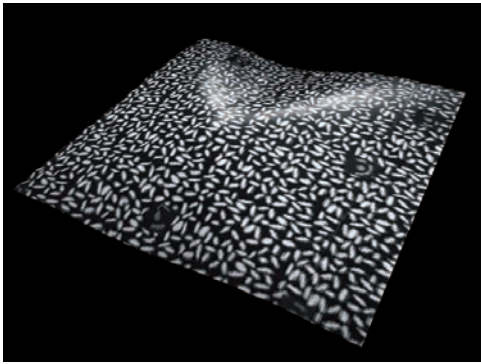


Abb. 9: Oberflächenmodell überlagert mit Bildtextur.

te Bildfolge, z. B. als dynamisches VRML, dargestellt werden können. Dazu kann in üblicher Weise das Originalbild durch Texture Mapping auf das Oberflächenmodell projiziert werden. Abb. 9 zeigt dazu ein Beispiel.

Da für das gezeigte Anwendungsbeispiel keine übergeordnet genau gemessenen Referenzflächen vorhanden waren, wird die erreichte Genauigkeit analysiert durch visuelle stereoskopische Kontrolle an einem photogrammetrischen Stereoarbeitsplatz, durch Vergleich von Oberflächenpunkten mit den signalisierten Passpunkten und durch Vergleich der Ergebnisse verschiedener Messverfahren untereinander.

Die visuelle stereoskopische Kontrolle zeigt im Bereich der großen Deformationen leichte Abweichungen, deren Ursache nicht unbedingt in der Genauigkeit der Höhenmessung liegen muss, sondern auch in möglichen Abweichungen bei den Parametern der inneren und äußeren Orientierung.

Der Vergleich von berechneten Oberflächenpunkten mit den Koordinaten der signalisierten Punkte, die aus einer photogrammetrischen Auswertung hoch auflösender Bilder stammen, zeigt eine mittlere Abweichung von ca. 0.7 mm. Dieser Wert bestätigt die theoretische Höhengenaugkeit im Stereofall

$$dh = \frac{h^2}{b \cdot c} dp_{x'}$$



Abb. 10: Oberflächenmodell der Epoche 18 (FAST Vision).

die mit $b = 885$ mm, $h = 1250$ mm und $dp_{x'} = 6 \mu\text{m}$ (0.5 Pixel) einen Wert von 0.8 mm ergibt.

4.5.2 Deformationen

Beispiele für die zwischen zwei Epochen berechneten Deformationen zeigen die folgenden Abbildungen. Abb. 11 zeigt Verschiebungsvektoren über zwei Epochen mit festem Punktraster, d. h. die Vektoren verlaufen vertikal. Die Farbe der Vektoren entspricht ihrer Länge entsprechend der abgebildeten Farbskala. Alternativ lassen sich die Deformationen auch als Differenzmodelle entsprechend Abb. 12 darstellen.

Für die materialtechnische Analyse ist es wünschenswert, die Trajektorien konkreter Objektpunkte auf der Oberfläche darzustellen. Dazu müssen Oberflächenmodelle der einzelnen Epochen vorliegen, deren Punkte das Ergebnis einer Punktverfolgung in der Bildsequenz sind. Die Punktverfolgung geschieht dabei nach folgendem Ablaufschema: Ausgehend von einem festen Punktras-

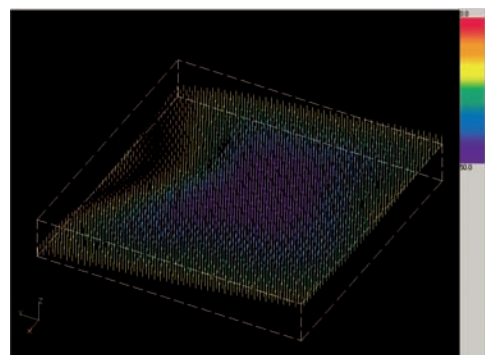


Abb. 11: Deformationsvektoren zwischen Epoche 0 und Epoche 25 (festes Punktraster).

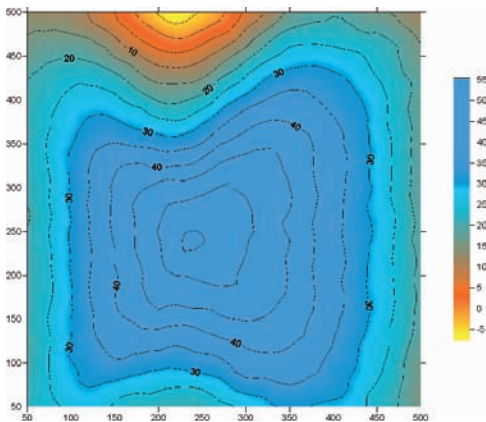


Abb. 12: Deformationen zwischen Epoche 0 und Epoche 30 (festes Punktraster).

ter in Epoche 0 wird ein erstes Höhenmodell berechnet. Für jeden Oberflächenpunkt wird dann an der Stelle $(x',y') = f(X,Y,Z)$ ein Bildausschnitt (Template) generiert und mittels Kleinste-Quadrate-Zuordnung (LSM) in das linke Bild der nächsten Epoche übertragen. Der zugehörige homologe Punkt (x'',y'') im rechten Bild wird über Kreuzkorrelation und LSM gesucht. Der neue Oberflächenpunkt ergibt sich dann durch räumlichen Vorwärtsschnitt.

Die aus diesen Modellen berechneten Verschiebungsvektoren verlaufen entsprechend der Objektverformung in beliebiger Raumrichtung. Abb. 13 zeigt ein Beispiel für die ungefilterten Deformationsvektoren zwischen Epoche 0 und Epoche 25. Die hier

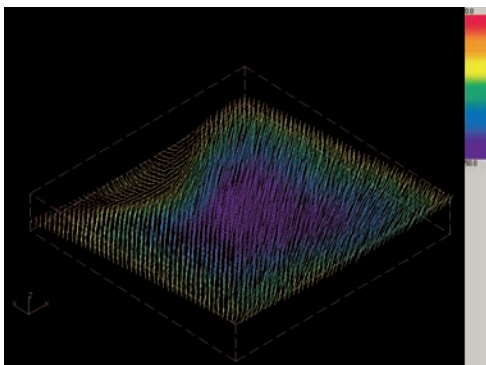


Abb. 13: Deformationen zwischen Epoche 0 und Epoche 25 (variables Punktraster).

noch erkennbaren Ausreißer liegen an den Oberflächenbereichen, die durch die codierten Messmarken gekennzeichnet sind und sich offenbar für ein Matching weniger gut eignen.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Der Beitrag diskutiert Möglichkeiten zur Aufnahme und Messung dynamischer Flächenverformungen am Anwendungsbeispiel von Fahrzeugsicherheitsversuchen. Hierfür werden Mehrbildsequenzen mit Highspeed-Kameras aufgezeichnet, die nach Kalibrierung und Orientierung anschließend durch Bildzuordnungsverfahren flächenhaft ausgewertet werden. Nicht ausreichend texturierte Oberflächen müssen dazu künstlich mit einem geeigneten Muster versehen werden, das gleichermaßen hohe Kontraste bereitstellt und eindeutige Bildzuordnung in verschiedenen Skalen erlaubt.

Für die Oberflächenrekonstruktion werden verschiedene Ansätze basierend auf bildraumbasierter Stereokorrelation und objektraumbasierter Mehrbildzuordnung eingesetzt und bewertet. Die praktische Eignung eines Bildzuordnungsverfahrens richtet sich dabei gleichermaßen nach erreichbarer Genauigkeit, Vollständigkeit des Oberflächenmodells, Robustheit gegenüber Störungen, Rechenzeiten, Bedienbarkeit und Verfügbarkeit in einer professionellen Programmumgebung.

Die vom Anwender spezifizierten maximalen Rechenzeiten von ca. 2 s pro Bildpaar werden nur von Stereokorrelationsmethoden erreicht. In der erreichbaren Objektgenauigkeit unterscheiden sich die verschiedenen Ansätze nicht signifikant, wobei das objektraumbasierte Zuordnungsverfahren leicht so parametrisiert werden kann, dass zu glatte Oberflächen entstehen. Gleichwohl bietet es Vorteile bei der Nutzung von mehr als zwei Kameras sowie der potentiellen Behandlung von Störobjekten im Objektraum.

Die Visualisierung von dynamischen Oberflächenveränderungen gelingt einerseits mit stereoskopischen Filmsequenzen, deren Einzelbilder auf Stereonormalbilder entzerrt werden. Andererseits lassen sich in-

teraktiv bedienbare 3D-Sequenzen herstellen, die eine qualitative und quantitative Beurteilung des Deformationsprozesses zulassen. Diese Möglichkeit diskutiert JAQUEMOTTE (2006) in diesem Heft.

Literatur

- GEHRKE, S., SCHNEIDER, I., NEUKUM, G. & HRSC Co-Investigator Team, 2006: Combined derivation of orthoimages and DTM from Mars Express HRSC data by means of matching in object space. – Fifth International Symposium »Turkish-German Joint Geodetic Days« March 28–31, 2006, Technical University Berlin.
- GODDING, R., LUHMANN, T. & WENDT, A., 2006: 4D Surface matching for high-speed stereo sequences. – ISPRS Symposium Commission V, Dresden.
- GRUEN, A., 1985: Adaptive least squares correlation – a powerful image matching technique. – South African Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Cartography, **14** (3): 175–187.
- GRUEN, A. & BALTSAVIAS, E.P., 1988: Geometrically Constrained Multiphoto Matching. – Photogrammetric Engineering & Remote Sensing (**42**) 3: 633–641.
- HASTEDT, H., LUHMANN, T. & RAGUSE, K., 2005: Three-dimensional acquisition of high-dynamic processes with a single-camera system and stereo-beam splitting. – Optical 3-D Measurement Techniques, Vol. 2: 175–184.
- HEIPKE, C., 1992: A global approach for least squares image matching and surface reconstruction in object space. – Photogrammetric Engineering & Remote Sensing (**58**) 3: 317–323.
- JAQUEMOTTE, I., 2006: Visualisierung und Analyse dynamischer Geodaten am Beispiel von Schiffsbewegungen in begrenzten Fahrwassern. – Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation **2006** (5): 411–416. (In diesem Heft)
- KÖLLER, P., REHFELD, N. & GERHARD, A., 1993: Automatische Auswertung der Filmbildsequenzen von Crashversuchen unter Einsatz der digitalen Bildverarbeitung. – Proceedings of MessComp 1993: Messen und Verarbeiten elektrischer und nichtelektrischer Größen: 85–91.
- LUHMANN, T., 2005: Zum photogrammetrischen Einsatz von Einzelkameras mit optischer Stereostrahlteilung. – Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation, **2005** (2): 101–110.
- LUHMANN, T. & RAGUSE, K., 2005: Synchronous 3-D High-Speed Camera with Stereo-Beam Splitting. – Sensor + Test, Nürnberg: 443–448.
- PIECHEL, J., 1991: Stereobild-Korrelation. – In: BÄHR/VÖGTLE (ed.): Digitale Bildverarbeitung – Anwendung in Photogrammetrie, Kartographie und Fernerkundung. – Wichmann Verlag, Heidelberg: 96–132.
- RAGUSE, K. & LUHMANN, T., 2006: Einsatz der dynamischen Photogrammetrie bei Fußgängerschutzversuchen in der PKW-Entwicklung. – In: LUHMANN/MÜLLER (ed.): Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik – Beiträge der 5. Oldenburger 3D-Tage, Wichmann Verlag, Heidelberg: 10–17.
- RAGUSE, K., DERPMANN-HAGENSTRÖM, P. & KÖLLER, P., 2004: Überlagerung der Bildinformationen von Berechnungsanimationen und Highspeed-Filmsequenzen mit Methoden der 3D-Bildmesstechnik. – In: BONFIG (ed.): Messen, Prüfen, Automatisieren, Band 5, Sensoren Signale Systeme, b. – Quadrat Verlag, Kreuztal: 199–208.
- WEISENSEE, M., 1992: Modelle und Algorithmen für das Facetten-Stereosehen. – Dissertation, Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Nr. 374.
- WENDT, A., 2002: Gemeinsame Ausgleichung von Laserscannerdaten und digitalen photogrammetrischen Bildern. – Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation, **2002** (2): 103–110.
- WENDT, A., LUHMANN, T., RIEDE, R. & WEISENSEE, M., 2004: Multiple Bildkorrelation im dreidimensionalen Objektraum mit konvergenten Aufnahmen. – Publikationen der DGPF, Band 16, Halle: 59–66.
- WIORA, G., BABROU, P., WILLBOLD, M., KOFLER, R. & MERGENTHALER, E., 2004: WheelWatch – Online-Photogrammetrie mit FPGA-Bildverarbeitung. – In: LUHMANN (ed.): Photogrammetrie – Laserscanning – Optische 3D-Messtechnik. – Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2004, Wichmann Verlag, Heidelberg: 272–278.
- WROBEL, B., 1987: Digitale Bildzuordnung durch Facetten mit Hilfe von Objektraummodellen. – Bildmessung und Luftbildwesen, Heft 3/1987: 93–101.

Anschriften der Autoren:

Prof. Dr.-Ing. THOMAS LUHMANN,
Dipl.-Ing. AXEL WENDT
Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik
FH Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelmshaven
Ofener Str. 16, D-26121 Oldenburg
Tel.: 0441-7708-3172, Fax: 0441-7708-3170
e-mail: luhmann@fh-oldenburg.de,
a.wendt@fh-oldenburg.de

Dipl.-Ing. ROBERT GODDING
AICON 3D Systems GmbH
Biberweg 30 C, D-38114 Braunschweig
Tel.: 05 31-58 000 58, Fax: 05 31-58 000 60
e-mail: robert.godding@aicon.de

Manuskript eingereicht: Mai 2006
Angenommen: Juni 2006

Konzepte zur optischen 3D-Navigation von Sensoren

THOMAS LUHMANN & VOLKER SAHRHAGE, Oldenburg

Keywords: Remote Sensing, photogrammetry, sensor navigation, 6DOF, stereo camera, resection

Summary: *Concepts for optical 3D sensor navigation.* The paper discusses possibilities for the determination of position and orientation of measuring sensors by one or more cameras. The navigation of sensors usually provides six degrees of freedom (6 DOF) in real-time. The task can be solved by only one camera, by stereo vision systems or by multiple cameras. The required relation between different local and world coordinate systems is determined by reference points. Some example applications demonstrate the potential of optical 3D navigation.

Zusammenfassung: In diesem Beitrag werden Möglichkeiten zur Bestimmung von Lage und Orientierung von messenden Sensoren diskutiert durch eine oder mehrere Kameras. Die Navigation von Sensoren erfolgt üblicherweise in sechs Freiheitsgraden (6 degrees of freedom, 6DOF) und in Echtzeit. Die Aufgabe kann mit nur einer Kamera, mit Stereoaufnahmesystemen oder mit einer Vielzahl von Kameras gelöst werden. Der notwendige Bezug zwischen den verschiedenen lokalen und übergeordneten Koordinatensystemen erfolgt über Referenzpunkte. Einige exemplarische Anwendungsmöglichkeiten zeigen das Potential der optischen 3D-Navigation auf.

1 Einleitung

Bereits seit mehreren Jahren sind Messsysteme auf dem Markt, mit denen freihändig geführte Sensoren, Werkzeuge oder Maschinen (Roboter) im Raum orientiert und gemessen werden können. Das zur Navigation genutzte Aufnahmesystem variiert dabei von bildgebenden Ein- und Mehrkamerasystemen (z. B. AICON ProCam/TraceCam, AXIOS 3D CamBar, Steinbichler T-Scan, Metris K-Serie) bis zu Lasertracker-gestützten Lösungen (z. B. Leica T-Scan). Allen Systemen gemeinsam ist die Aufgabe, die sechs Freiheitsgrade (6 DOF) eines Körpers im Raum zu bestimmen, wobei die mathematischen Lösungen von der 3D-Transformation gemessener 3D-Punktgruppen (Zwei- oder Mehrkamerasysteme), über Methoden basierend auf Rückwärtsschnitten (Einkameralösungen) bis hin zu hybriden Sensorensystemen (Entfernungsmessungen, INS) reichen. Eine aktuelle Übersicht gibt KYLE (2005).

Derzeit verfügbare optische Navigationslösungen bestehen größtenteils aus zwei bis vier synchron arbeitenden digitalen Kameras mit nicht veränderbarer äußerer Orientierung, aus deren Aufnahmen die Orientierungswerte eines mobilen Sensors berechnet werden. Diese Systeme liefern in einem relativ kleinen, definierten Messvolumen gute Messgenauigkeiten von wenigen Zehntel Millimetern. Mehr Flexibilität erlauben photogrammetrische Online-Systeme, bei denen z. B. zwei Kameras frei positioniert und über ein Referenzfeld orientiert werden (z. B. GSI V-STARS/M).

Die Signalisierung der verschiedenen Sensoren (z. B. Handtaster, Oberflächenscanner) erfolgt dabei sowohl passiv (retroreflektierende Zielmarken) als auch aktiv (LEDs). Einschränkungen bestehen hier allerdings in der Größe des Messvolumens sowie in den von der Aufnahmeentfernung abhängigen Messgenauigkeiten. Weitgehend von der Entfernung unabhängige Systeme nutzen einen Lasertracker mit optischer

Einheit zur Navigation (DOLD 2004). Im Gegensatz zu den rein optisch arbeitenden Systemen bietet der Lasertracker ein weitaus größeres Messvolumen von bis zu 30 m rund um den Standpunkt bei relativ homogenen und hohen Genauigkeiten im gesamten Messvolumen. Eine Alternative zum Lasertracker stellen Indoor-GPS-Systeme dar. Der Sensor wird hier durch Laserlichtwellentriangulation navigiert (ArcSecond 2002).

Auf dem Markt weniger gut repräsentiert sind Einkamerasysteme. Die Orientierung der einzelnen Kamera wird über Rückwärtschnitte bestimmt. Es ergibt sich die Möglichkeit, entweder den Sensor mit der Kamera zu verbinden und über ein im Raum angebrachtes Passpunktfeld zu orientieren, oder den Sensor direkt mit der Kamera zu beobachten (ggf. vor einem Passpunktfeld). Gerade die erste Möglichkeit wäre für den Einsatz in räumlich eingeschränkten Situationen geeignet. Wenig eingesetzt werden bisher frei konfigurierbare Systeme mit (beliebig) vielen Kameras, die z. B. einen kompletten Messraum abdecken können. Da für die o. g. Aufnahmesysteme eine Reihe von Anwendungen denkbar sind, sollen im folgenden deren konzeptionellen Ansätze verdeutlicht und Anwendungsbeispiele aufgezeigt werden.

2 Navigation mit Ein- und Mehrkamerasystemen

2.1 Koordinatensysteme

Um einen Sensor navigieren zu können, sind je nach Aufnahmesystem eine entsprechende Anzahl an Koordinatensystemen zu verknüpfen (Abb. 1). Das Kamera- oder Navigatorsystem xyz_K ist ein örtliches, in der Kamera definiertes 3D-Koordinatensystem, in dem die Bildmessungen definiert sind. Mehrere Kameras können relativ zueinander orientiert in einem Modellkoordinatensystem xyz_M vorliegen, in dem lokale 3D-Koordinaten gemessen werden können. Das Sensorkoordinatensystem xyz_S ist das System, in dem der Sensor seine individuellen Messgrößen erzeugt (Distanzen, Richtungen, 3D-

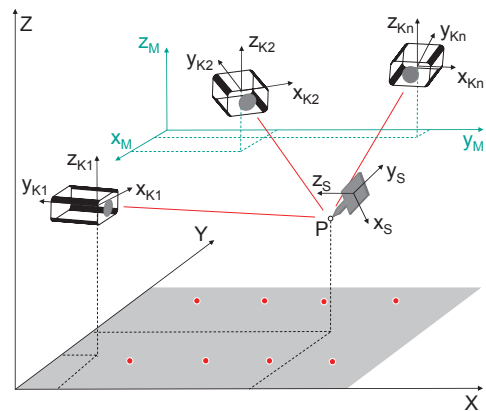


Abb. 1: Koordinatensysteme im Ein- und Mehrkamerasystem.

Koordinaten). Das Objekt- oder Gesamtkoordinatensystem XYZ schließlich ist das Koordinatensystem, in dem die gewonnenen 3D-Koordinaten für die Anwendung berechnet werden.

Jedes Navigationssystem wird über Passpunkte im Objektkoordinatensystem orientiert. Sowohl in einem Ein- als auch in einem Mehrkamerasystem kann dann ein entsprechend signalisierter Sensor online navigiert werden. Die Lage und Orientierung des Sensors wird über die geometrisch eindeutige Signalisierung (Lokatorpunkte) berechnet.

2.2 Zeitabhängige Größen

Zeit spielt in dynamischen Messaufgaben eine zentrale Rolle, da Genauigkeit und Zuverlässigkeit einer Navigation oder Online-Messung wesentlich von der Bewegungsgeschwindigkeit der beteiligten Komponenten abhängen.

Die maximale Messfrequenz des Navigationssystems ergibt sich im Wesentlichen aus

- der maximalen Bildfrequenz der einzelnen Kameras,
- der Bandbreite der digitalen Bilddatenübertragung,
- der Synchronisierung mehrerer Kameras,
- der Anzahl der gleichzeitig zu messenden Punkte,
- der zu erreichenden Messgenauigkeit,

- der Geschwindigkeit der Relativbewegung zwischen Sensor und Navigationssystem
- und der verfügbaren Rechnerleistung.

Ein Synchronisationsfehler zwischen zwei oder mehr Kameras führt zu einem räumlichen Messfehler. Für eine Aufnahmekonfiguration nach dem Stereonormalfall beträgt der Fehler in Aufnahmerichtung ΔZ (LUHMANN 2003, siehe Abb. 2):

$$\Delta Z = \frac{h}{b} \Delta S = \frac{h}{b} \cdot \Delta t \cdot v$$

mit

Δt : Synchronisationsfehler

v : Objektgeschwindigkeit

ΔS : Wegstrecke

h : Aufnahmeabstand

b : Basislänge

und parallel zur Bildebene

$$\Delta X = \frac{x'}{c} \Delta Z$$

$$\Delta Y = \frac{y'}{c} \Delta Z$$

mit

x', y' : Bildkoordinaten

c : Kamerakonstante

Die erreichbare 3D-Messgenauigkeit ist weiterhin abhängig von zahlreichen Einflussfaktoren wie z. B. der optischen Abbil-

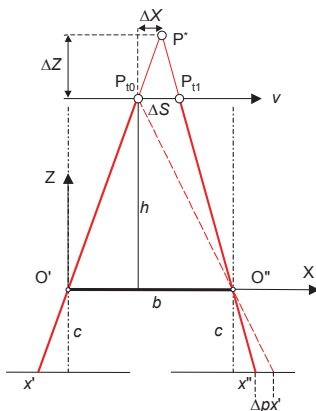


Abb. 2: Lage- und Distanzfehler durch Synchronisationsfehler bei zwei Kameras.

ungsqualität, Belichtungszeit (Bewegungsunschärfe), Kalibrierung und Orientierung, Aufnahmekonfiguration, Abbildungsmaßstab und Bildmessgenauigkeit.

2.3 Navigation mit einer Kamera

Einkamera-Navigationssysteme basieren grundsätzlich auf dem Prinzip des räumlichen Rückwärtsschnittes, mit dem die sechs Freiheitsgrade zwischen einer Kamera und einem räumlichen Referenzobjekt bestimmt werden. Das Prinzip wurde bereits von GODDING et al. (1997) zur Roboterkalibrierung eingesetzt. Einkamerasysteme sind frei von Synchronisationsproblemen und lassen sich durch Strahlteiler auch als Stereo- oder Mehrkamerasysteme realisieren (LUHMANN 2005a, PUTZE & HOYER 2005).

Ein Einkamerasystem kann auf verschiedene Arten konfiguriert werden. Eine Möglichkeit besteht darin, die Kamera über im Raum verteilte Passpunkte direkt im Objektkoordinatensystem zu orientieren (Abb. 3). Eine Umsetzung dieses Prinzips besteht darin, dass die Kamera den Sensor vor einem Passpunktfeld beobachtet, so dass die 6DOF-Bestimmung zwischen Sensor/Lokator und Referenzobjekt erfolgt (z. B. AICON WheelWatch). Das Genauigkeitsverhalten eines Einkamerasystems zur 6DOF-Bestimmung wird in LUHMANN (2005) untersucht. Alternativ wird die Kamera direkt mit dem Sensor verbunden. In diesem Fall bilden Kamera und Sensor ein geschlossenes System, in dem die Orientierung zwischen Sensor und Kamera bekannt ist (AICON ProCam). Ist der Sensor

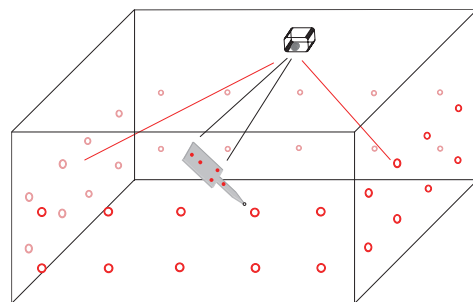


Abb. 3: Navigation mit einem Einkamerasystem.

mit hinreichend vielen (≥ 4) Lokatorpunkten versehen, ist die Orientierung der Kamera auch relativ zum Sensor ohne zusätzliches Passpunktfeld möglich. Die Messwerte liegen in diesem Fall nur im Kamerakoordinatensystem vor.

Bei ausreichender räumlicher Verteilung der Objektpunkte lassen sich auch die Parameter der inneren Orientierung aus nur einem Bild kalibrieren. Werden alle üblichen Kameraparameter eingeführt, erhöht sich die Zahl der Bestimmungselemente auf 16 (sechs der äußeren und zehn der inneren Orientierung). Es sind für diesen Fall also mindestens acht räumlich verteilte XYZ-Passpunkte erforderlich.

2.4 Navigation mit mehreren Kameras

Die einfachste Realisierung eines Mehrkameranavigationssystems ist durch eine Stereokamera gegeben, deren Einzelkameras über eine starre mechanische gegenseitige Verbindung und eine über einen längeren Zeitraum geltende relative Orientierung verfügen. Derartige Systeme werden verbreitet in der Medizintechnik als optische Navigationssysteme eingesetzt (z. B. NDI Polaris oder AXIOS 3D CamBar), sind aber auch im industriellen Umfeld als Trackingsysteme im Einsatz (z. B. Metris K-Serie). Erweiterte Systeme nutzen drei oder vier fest mit einander verbundene Kameras (z. B. AICON TraceCam). Hierbei ist eine Sensor- oder Objektverfolgung auch dann möglich,

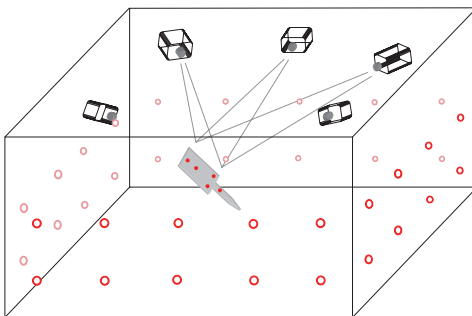


Abb. 4: Navigation im verteilten Mehrkameranavigationssystem.

wenn eine Kamera zwischenzeitlich verdeckt wird.

Da ein verteiltes Mehrkameranavigationssystem (Abb. 4) nicht über eine bekannte, starre Verbindung der einzelnen Kameras verfügen würde, wird die Orientierung und Kalibrierung jeder Kamera durch Rückwärtschnitte, wie in 2.3 beschrieben, oder Bündelausgleichung gewonnen. Die Kalibrierung erfolgt dabei für jede Kamera separat im Vorfeld oder simultan. Mit Hilfe signalisierter Passpunkte kann die Orientierung permanent während der Messung überprüft oder aktualisiert werden.

3 Anwendungsbeispiele

Für die beschriebenen Ein- und Mehrkameranavigationssysteme ist die Navigation verschiedenster Sensoren denkbar. Je nach Messaufgabe kann der Sensor von einem taktilen Handtaster über distanzmessende oder flächenhaft messende Sensoren bis hin zu bildgebenden Sensoren variieren. Die folgenden Abschnitte zeigen gängige und neue Anwendungsbeispiele auf.

3.1 Navigation taktiler Handtaster

Taktile Handtaster besitzen ein lokal kalibriertes Feld von Lokatorpunkten und eine dazu kalibrierte Tastspitze. Der in Abb. 5 dargestellte Handtaster besitzt neben vier Referenzpunkten eine weitere Zielmarke,



Abb. 5: Handtaster mit optischer Schaltfunktion (AXIOS 3D).

deren Bewegung gemessen und als Schaltimpuls interpretiert werden kann. Die Navigation eines taktilen Sensors ist für nahezu alle Stereomesssysteme üblich und auch in einem Mehrkamerasystem möglich. In Verbindung mit einem Einkamerasystem kann der Sensor entweder mit der Kamera verbunden und über ein im Raum angebrachtes Passpunktfeld orientiert (AICON ProCam) oder von der Kamera direkt beobachtet werden (Metronor Solo).

3.2 Navigation von distanzmessenden Sensoren

Ersetzt man die nur eingeschränkt variable Länge einer Tastspitze durch berührungslose Streckenmessungen, kann das Messvolumen deutlich vergrößert werden. Wie von SAHRHAGE et al. (2006) beschrieben, kann der Handtaster durch ein Laserdistanzmessgerät ersetzt werden (Abb. 6). Derartige Geräte verfügen über Funktechnologie und sind als kabelloser Sensor einsetzbar. Als Einheit mit der Aufnahmekamera werden sie wie in 3.1 dargestellt orientiert. Verfügt das Distanzmessgerät über Passpunkte, ist auch die Navigation durch eine oder mehrere im Raum angebrachte Kameras möglich.

Die mit einem solchen Sensor erreichbaren Genauigkeiten liegen deutlich unter denen des Handtasters. Dies liegt unter anderem an der Streckenmessgenauigkeit des Sensors und an Messunsicherheiten, die sich aus der polar angehängten Messung ergeben. Für Anwendungen mit geringeren Genauigkeitsanforderungen, wie z. B. Innenaufnahmen, sind die erreichbaren Genauigkeiten von < 10 mm jedoch ausreichend.

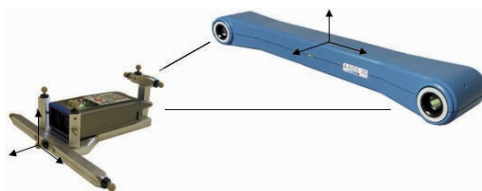


Abb. 6: Navigation eines Distanzmessers mit einem Stereokamerasystem (Axios 3D).

3.3 Navigation von flächenhaft messenden Sensoren

Auch für flächenhaft messende Sensoren macht eine Navigationslösung Sinn. Zu dieser Art von Sensoren gehören z. B. Streifenprojektoren oder Zeilenscanner. Der Nutzen der Echtzeitorientierung des Sensors wird hier deutlich. Die Orientierung von Zeilenscanneraufnahmen wäre ohne permanente Bestimmung der Orientierung nicht möglich, da hier nicht genügend Bildinformationen vorliegen. Die zeitaufwendige Rückführung einzelner Streifenprojektormessungen in ein einheitliches Koordinatensystem über Verknüpfungspunkte entfällt ebenfalls durch die Navigation. Für Streifenprojektionssysteme mit sequentieller Linienprojektion (Phasenverschiebung) dürfen sich Objekt und Scanner jedoch während einer Messung nicht relativ zueinander bewegen.

3.4 Navigation von bildgebenden Sensoren

Eine neuartige Anwendung ist die Navigation bildgebender Sensoren (Videokamera, High-Speed-Kamera). Interessant sind in diesem Zusammenhang z. B. die Echtzeit-Orientierung mitfahrender High-Speed-Kameras im Fahrzeugcrash, deren Orientierung im bewegten und sich verformenden Fahrzeug nur sinnvoll von einem abseits liegenden Standpunkt aus möglich ist. Die Aufnahme der Bewegung von verschiedenen Standpunkten entspräche der eines verteilten Mehrkamerasystems, für das auch ein simuliertes Mehrkamerasystem auf Basis eines Spiegelstereovorsatzes geeignet ist (LUHMANN 2005b).

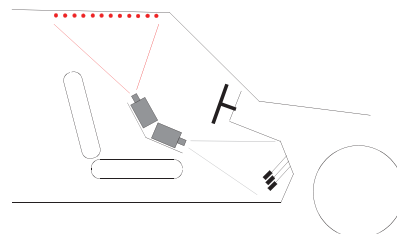


Abb. 7: Einkamerasystem im Fahrzeuginneren.

Das Einkamerasystem kann dagegen im Fahrzeug mitfahrend eingesetzt werden. Gekoppelt mit einem Sensor (z. B. einer weiteren Kamera) betrachtet es ein innerhalb oder außerhalb des Fahrzeug liegendes, nicht den Auswirkungen des Crashes unterliegendem Passpunktfeld. Die zusätzliche Kamera ermöglicht Bildmessungen im Fahrzeuginneren im Koordinatensystem des verwendeten Passpunktfeldes (Abb. 7).

4 Zusammenfassung

Die berührungslose und schnelle 3D-Navigation von messenden Sensoren gewinnt zunehmend an Bedeutung. Verschiedene Aufnahme Konzepte sind bereits in der Praxis zu finden, weitere Anwendungsmöglichkeiten werden zukünftig noch umgesetzt werden. Je nach Aufgabenstellung werden Systeme basierend auf einer Kamera, auf zwei oder auf beliebig vielen Kameras genutzt. Sie unterscheiden sich bezüglich der im Objekt-raum erforderlichen Referenzinformationen, der Messgenauigkeit und der Flexibilität, z. B. in Hinsicht auf Verdeckungen und die Messung komplexer Objekte.

Optische Navigationssysteme gehören in den Bereich der dynamischen Photogrammetrie und besitzen zeitabhängige Parameter. Neben der erreichbaren Messgenauigkeit im stationären Fall, haben daher auch maximale Aufnahme Frequenzen, Bewegungsgeschwindigkeiten, Belichtungs- und Verarbeitungszeiten einen signifikanten Einfluss auf das Messergebnis und damit auf die praktische Anwendbarkeit.

Literatur

- ARCSECOND, 2002: Error budget and specifications. www.indoorgps.com/PDFs/wp_Error_Budget.pdf, letzter Zugriff: 06. 06. 2006
- DOLD, J., 2004: Neue Laser-Technologien für die Industrievermessung. – Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation, **2004** (8): 39–46.
- GODDING, R., LEHMANN, M. & RAWIEL, G. (1997): Robot adjustment and 3-D calibration – photogrammetric quality control in daily use. – In: GRUEN/KAHMEN (ed.): Optical 3-D Measurement Techniques IV. – Wichmann Verlag, Heidelberg: 158–165.
- KYLE, S. A., 2005: Alternatives in 6D Probing. – Coordinate Metrology Systems Conference, Austin, Texas.
- LOSER, R. & KYLE, S. A., 2003: Concepts and components of a novel 6DOF tracking system for 3D metrology. – Optical 3-D Measurement Techniques, Zurich.
- LUHMANN, T., 2005A: On the determination of objects rotation and translation in 3-D space (6 DOF) by a single camera. – Optical 3-D Measurement Techniques, 2005.
- LUHMANN, T., 2005b: Zum photogrammetrischen Einsatz von Einzelkameras mit optischer Stereostrahlteilung. – Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation, **2005** (2): 101–110.
- PUTZE, T. & HOYER, K., 2005: Modellierung und Kalibrierung eines virtuellen Vier-Kamerasystems auf Basis eines verstellbaren Spiegelsystems. – In: LUHMANN (ed.): Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik. – Beiträge der 4. Oldenburger 3D-Tage, Wichmann Verlag, Heidelberg: 164–171.
- SAHRHAGE, V., RIEDE, R. & LUHMANN, T., 2006: Optische 3D-Navigation von Sensoren. – In: LUHMANN/MÜLLER (ed.): Photogrammetrie, Laserscanning, Optische 3D-Messtechnik. – Beiträge der 5. Oldenburger 3D-Tage, Wichmann Verlag, Heidelberg: 54–61.
- Internet-Adressen der im Text erwähnten Unternehmen:
 AICON 3D Systems: www.aicon.de
 AXIOS 3D Services: www.axios3d.de
 Leica Geosystems (jetzt Hexagon): www.leica-geosystems.com
 Metris: www.metris.com
 Steinbichler: www.steinbichler.de
 GSI: www.geodetic.com
- Anschriften der Autoren:
 Prof. Dr.-Ing. THOMAS LUHMANN,
 Dipl.-Ing. VOLKER SAHRHAGE
 Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik
 FH Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelmshaven
 Ofener Str. 16, D-26121 Oldenburg
 Tel.: 0441-7708-3172, Fax: 0441-7708-3170
 e-mail: luhmann@fh-oldenburg.de
volker.sahrhage@fh-oldenburg.de
- Manuskript eingereicht: Mai 2006
 Angenommen: Juni 2006

Monitoring Land-use Change in Northwest Nigeria by an Analysis of Multisensor Data – Corona, Landsat MSS, TM and ETM +

ANGELA HOF, Bochum

Keywords: Remote sensing, land-use change, croplands, monitoring, drylands

Zusammenfassung: *Landnutzungsmonitoring im Nordwesten Nigerias durch Auswertung von Multisensordaten – Corona, Landsat MSS, TM und ETM +.* Das im Zuge der „Global Change“-Forschung zunehmende Interesse an Informationen über Landnutzungs- und Landbedeckungsveränderungen steht im Widerspruch zu der schmalen raumbezogenen Daten- und Wissensbasis über historische und aktuelle Veränderungen in den Trockengebieten Afrikas. Ein Beispiel ist die Ausdehnung von Ackerflächen zu Lasten natürlicher Trockensavannen und Weidegebiete im Sudan-Sahel. Der folgende Beitrag beschreibt die Herausforderungen für die satellitenbildgestützte Erfassung von Ackerflächen und das Monitoring von Ackerflächenausdehnung im Sudan-Sahel anhand eines Fallbeispiels. Die Landnutzungskategorie „Ackerflächen“ setzt sich aus verschiedenen Flächenbedeckungen mit unterschiedlichen spektralen Eigenschaften zusammen. Die visuelle Auswertung der verfügbaren Multisensordaten erweist sich als praktikable fernerkundliche Methode. Die quantitative und räumlich konkrete Darstellung des Landnutzungswandels zwischen 1965 und 2002 gibt Aufschluss über Phasen schneller Veränderungen und mögliche Steuerungsgrößen.

Summary: The growing interest in land-use and land-cover change information in the context of global change research contrasts with the scarcity of spatial data and information on historical and recent changes in African drylands. One example is cropland expansion at the expense of natural vegetation areas and rangelands in the Sudano-Saharan zone. The present article provides an overview of cropland characteristics and the implications for change detection and monitoring of cropland expansion in the Sudano-Sahel with remotely sensed data. The case study example shows that the thematic class “cropland” consists of different land covers with vastly different spectral properties. The use of these seasonally variable properties alone cannot distinguish cropland or cropland expansion. Visual image interpretation is a feasible approach to change detection with the available multisensor data. The quantitative and spatially explicit information on land-use change between 1965 and 2002 reveals the periods of rapid land-use change and illuminates possible driving causes behind land-use changes.

1 Introduction

Land-use and land-cover change is recognised as a key driver of global change and land-use and land-cover information has become a major research focus (LAMBIN et al. 1999). Before the land-use/cover change processes and their ecological impacts can be understood, the changes must be accurately characterised and quantified. Remote sensing-

derived data are increasingly used to assess and monitor land-use and land-cover. Data on changes in drylands are less complete than data on other types of land-use/cover change. Geographic information is scarce, interpretation of remotely sensed data is complicated and human-induced changes are difficult to distinguish from climate-driven changes (FOODY 2001, LAMBIN & EHRLICH 1997, LEPERS et al. 2005). Local-

scale changes in land-cover and land-use patterns in close-settled dryland landscapes are just a fraction of change detected in regional- or continental-scale studies yet their impacts on ecosystems and sustainability of livelihood might be significant (LAMBIN & EHRlich 1997).

This information gap is particularly obvious for cropland expansion, which is one of the most prominent types of land-use change in the semi-arid Sudano-Sahelian zone (HIERNAUX & TURNER 2002, STÉPHENNE & LAMBIN 2001). Population growth is estimated at more than 2 per cent annually and annual cropland expansion rates ranging from 3% to 5.8% (1961–1989) and 1.4% to 4.8% (1984–1997) were observed in local studies throughout the Sudano-Sahelian zone (STÉPHENNE & LAMBIN 2001, p. 157). Most of this expansion happens at the existing extensive technological level and at the expense of natural vegetation areas or rangeland (HIERNAUX & TURNER 2002).

Cropland expansion has complex social and environmental dimensions. Monitoring cropland expansion reveals significant shifts in resource management strategies and changing balances between crop and livestock production. The clearing of natural vegetation for crop production may initiate soil nutrient depletion and may lead to overstocking of the shrinking rangelands (GEIST & LAMBIN 2004, HIERNAUX & TURNER 2002, POWELL et al. 2004).

Remote sensing data are an important land-cover data source in the African context of poor geoinformation (Committee on the Geographic Foundation for Agenda 21 et al. 2002). The fact that land-cover changes caused by human activities generally occur at scales finer than 1 km (TOWNSHEND et al. 1991) limits the applicability to medium resolution remote sensor data. In terms of cost, temporal and spatial scope of remote sensing data, the Landsat archive lends itself to monitoring and retrospective land-use change research. However, the Landsat archives (USGS 2003) reveal a limited data availability for West African drylands that is corroborated by other studies (LEPERS et al. 2005, LOVELAND et al. 1999). Time series

approaches (HOSTERT et al. 2003) or digital change detection methods (JENSEN 2005) are of limited value for change analysis in drylands if the choice of data and observation dates is limited (LAMBIN 1996, TAPPAN et al. 2000).

In such cases, the inclusion of multisensor data is a necessary and practical approach to successive mapping and change detection (TAPPAN et al. 2000). Visual image interpretation may prove the most feasible and appropriate approach to the detection of thematic land-use conversion at the local scale (SOHL et al. 2004, TAPPAN et al. 2000).

The present paper pursues three objectives: (1) to outline the characteristics and interpretability of cropland expansion in the Sudano-Sahelian zone; (2) to demonstrate the monitoring of cropland expansion with multisensor data for a case study example; (3) to briefly discuss the influence of data characteristics on thematic classification and area statistics.

2 Cropland characteristics and implications for change analysis in the Sudano-Sahelian zone

In the Sudano-Sahelian zone, the small field sizes, low vegetation cover within and outside croplands and spectral similarities between fallows and cropland complicate the mapping of agricultural land-use (REENBERG 1994, TURNER & CONGALTON 1998). With respect to change detection, spectral, seasonal and thematic characteristics of croplands are of particular interest.

Spectral heterogeneity results from low vegetation cover, spectral ambiguity and mixed pixels in the fine-grained Sudano-Sahelian landscape (LOVELAND et al 1999). The crop phenological cycle and the practice of intercropping influence the spectral variability of croplands. A variety of crop species at different stages of development is intercropped in the individual fields. Harvest of the different crop species starts in August and ends in late November (MORTIMORE & ADAMS 1999). This is exacerbated by the fact that different land-covers are associated with the thematic land-use class “cropland”

and these covers have different spectral signatures. Cropland may consist of abandoned cropland, recently cleared cropland, crop-fallow-cycle, and permanently cultivated land (MORTIMORE & ADAMS 1999).

Measured in terms of the Normalized Difference Vegetation Index (JENSEN 2005), the heterogeneity of vegetation response in the Sudano-Sahelian zone is lowest during the time of highest vegetation development at the end of the wet season (September) or during the dry season when vegetative growth ceases (December to April). The heterogeneity of vegetation response reaches a maximum in October or November when the cultivated land has been mostly harvested while the natural vegetation is still green (LAMBIN 1996).

Taking these spectral, seasonal and thematic characteristics into consideration, remotely sensed data acquired in October or November can be expected to be optimal for mapping different land-use categories in the Sudano-Sahelian zone (LAMBIN 1996). Anniversary dates can be compared for the detection of complete land-cover conversion as a result of land-use change (SOHL et al 2004, TAPPAN et al. 2000).

With a focus on permanently cultivated cropland and the appropriation of uncultivated land for cropping, only full land-conversion trajectories (natural vegetation-cropland) are considered cropland expansion (land-use change) in the following example. The study is based on the available multisensor data over the largest area of reserved Sudanian savanna woodland in northwest Nigeria for a period of 37 years.

3 Study area and datasets

The Zamfara and Runka reserves (3300 km²) are located in the Sudano-Sahelian bioclimatic zone of northwest Nigeria (Fig. 1). The semi-arid climate is characterised by a single wet season (May to September) with a precipitation peak in July and August, and a distinct dry season from October to April. Long-term average annual rainfall ranges from 650 mm to 850 mm along a north-south gradient in the reserves.

The coarse textured, predominantly sandy soils have developed from pre-Cambrian basement complex granites. They are low in nitrogen, phosphorus and organic matter content. Based on aerial photographs and ground surveys (RIM 1991), the vegetation of the reserves has been described as undifferentiated Sudanian savanna woodland with a tree canopy cover of 5 to 8% and more than 90% shrub/grassland cover in the Zamfara Reserve and 50–75% shrub/grassland cover in the Runka Reserve (Fig. 1).

The Zamfara and the adjacent Runka reserve were part of a series of Nigerian national projects in the 1960s to convert forest reserves into grazing reserves. Due to the status as reserves, cropland is restricted to the four encapsulated farming enclaves in Zamfara Reserve: Dumburum, Shamu-shalle, Tsabre and Aja (Fig. 1). Besides for livestock of the sedentary farmers, the reserves are an important transhumance grazing area for the livestock of nomadic and transhumant livestock-keepers. Based on 1991 census data the areas bordering on the reserves had an estimated population density of 124 persons km⁻² (CIESIN et al. 2000). Population density within the reserves is much lower (approximately 15 persons km⁻²).

Altogether 31 Landsat TM and ETM+ scenes (path/row 189/51) were available for

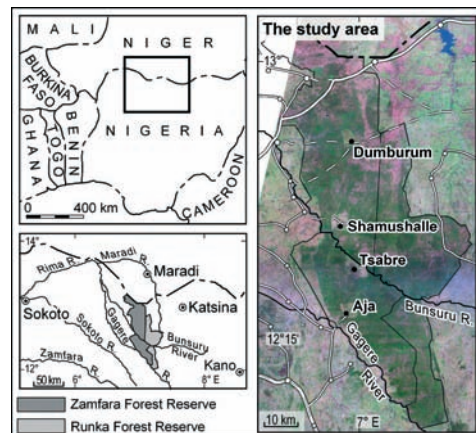


Fig. 1: The location of the study area in northwest Nigeria and Landsat 7 ETM+ subset of October 1999, bands 742 (RGB).

Tab. 1: Multisensor data used for monitoring land-use change.

Platform and sensor	Acquisition date	Nominal spatial resolution of bands mapped (m)
Corona KH-4A	04 November 1965	2.74 × 2.74
Landsat 2 MSS	29 January 1976	79 × 79
Landsat 4 TM	23 February 1988	30 × 30
Landsat 7 ETM+	19 October 1999	30 × 30
Landsat 7 ETM+	20 May 2002	30 × 30

the period 1982–2002 (USGS 2003). Cloud-free dry season Landsat scenes covering optimal time intervals were selected for analysis (Tab. 1). In addition, a Landsat MSS scene (GLCF 2005) and three Corona satellite photographs (USGS 2001) were used to extend the monitoring as far back in time as possible (Tab. 1).

The Landsat MSS, TM and ETM+ data were rectified by the data distributor to the desired map projection (UTM zone 32 North, WGS84 spheroid and datum). Because digital format was not available at the time of order, Corona positive films were ordered and scanned with a Vexcel Imaging Austria UltraScan 5000 photogrammetric scanner at 20 μm (1270 dpi) resolution to acquire a pixel ground resolution of approximately 6 m.

In the absence of topographic maps of the study area, the scanned Corona images were registered to the panchromatic bands of the level 1-G Landsat 7 ETM+ images (1999) and bilinear interpolation resampled into UTM projection with an output pixel size of 6 × 6 m. For the northern and southern Corona scenes, a positional accuracy of 1.3 pixel was achieved with 26 and 25 ground control points, respectively, and a second order polynomial transformation. Due to severe geometric distortion of the centre scene a nonlinear rubber sheeting model was applied using 31 ground control points. The resulting positional accuracy was within one pixel (3 metres) when overlaid with the panchromatic Landsat 7 ETM+ band. Co-registration and atmospheric correction of the different Landsat images (Tab. 1) was not performed as a per-pixel change analysis was not carried out (JENSEN 2005). Changes

in spectral response between two dates of calibrated images indicate some form of surface change, but this change often is not a thematically defined land-use change (SOHL et al. 2004).

4 Analysis of multisensor data

The present study avoids problems of data fusion or image calibration by relying almost exclusively on visual interpretation. Given the unavailability of anniversary-date data from the same sensor, seasonality influences, the geographic context and the use of multisensor data, this change detection methodology was considered to be most feasible and effective (SOHL et al. 2004, TAPPAN et al. 2000).

Land-use change as a discontinuous process with periods of rapid change is exemplified with the development of Shamushalle enclave (Fig. 1, Fig. 2). Cropland expansion is patchy which has implications for the analysis of multisensor data. Cropland expansion is periodic but the development can be ascribed to a single settlement. This is important for exploring the linkages between ground data on human activities and remote sensing data.

The various elements of visual image interpretation (JENSEN 2000) were applied to the high-resolution Corona images and the Landsat images (Fig. 2). In the early dry season images (November 1965 and October 1999), the thematic land-use class “cropland” is a mixture of agricultural land with crops and harvested agricultural land (Fig. 2). In the late dry season images (January 1976 and February 1988), all the cropland is harvested (Fig. 2). This seasonal in-

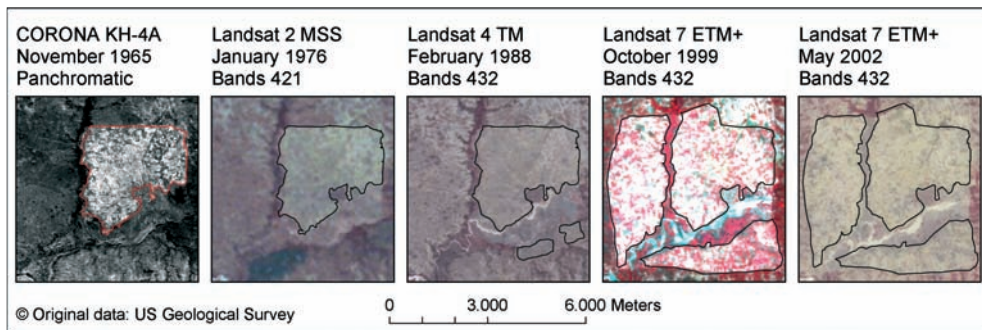


Fig. 2: Cropland expansion in Shamushalle enclave 1965–2002.

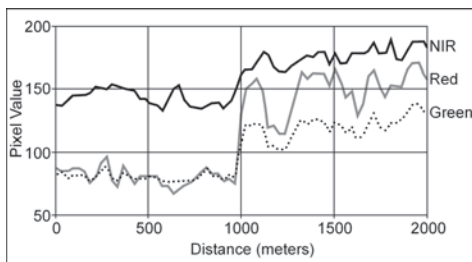


Fig. 3: Spatial profile of reflectance values across an uncultivated land-cropland interface (October 1999).

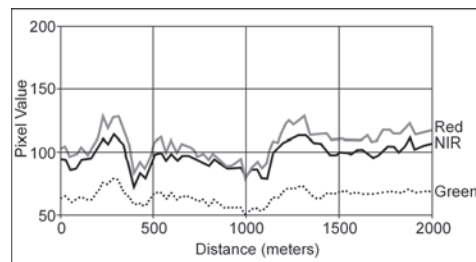


Fig. 4: Spatial profile of reflectance values across an uncultivated land-cropland interface (February 1988).

fluence is reflected in the spatial profile of the near-infrared (band 4) red (band 3) and green (band 2) spectrum of Landsat ETM+ data of October 1999 (Fig. 3). The differences between uncultivated land and cropland show as increase in brightness values as the profile line enters the enclave cropland at the 1000 m mark (Fig. 3). At that time of year, cropland reflects relatively higher amounts of incident red light, causing the NDVI to be much lower than for uncultivated land (Fig. 3).

The same spatial profile over the late dry season Landsat TM image (February 1988) shows the low spectral contrast between uncultivated land and cropland as well as the low vegetation response of both land-use classes (Fig. 4).

The use of spectral information alone cannot distinguish cropland expansion. In all datasets, tone/colour, brightness, site (location of cropland around settlements) and association (neighbourhood of settlements,

cropland and watercourses) are additional key variables that are used in land-use mapping and change detection (Fig. 5). Croplands are distinct from uncultivated land both in the pattern and colour of pixels in the Landsat colour composites. Like in the Corona images, the field pattern is recognisable due to a relatively systematic arrangement of tonal patterns (Fig. 5). The combinations of these spectral properties (tone/colour and brightness) with other interpretation elements enable the image interpreter to map cropland or land-cover conversion, i. e. cropland expansion.

In the early dry season Corona image, cropland was mapped on the basis of characteristic field patterns, bright tones and smooth texture. The field pattern results from small field sizes and variations in grey tones. Planted fields (mainly sorghum, *Sorghum bicolor*, and cowpea, *Vigna unguiculata*) appear darker and alternate with bright fields where pearl millet (*Pennisetum*

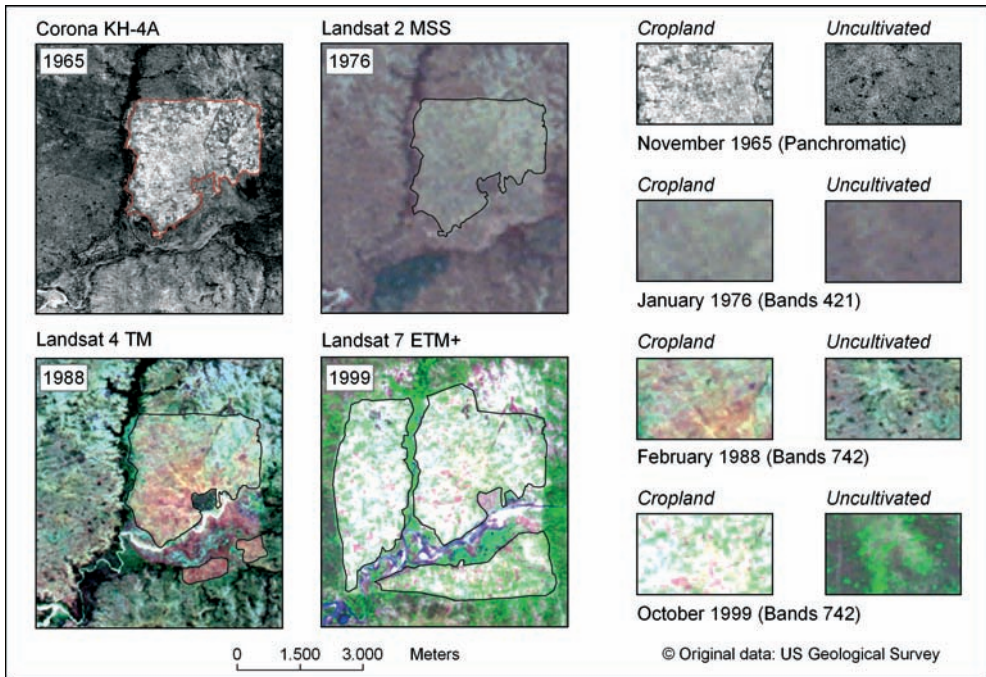


Fig. 5: Cropland characteristics represented on multisensor imagery.

ssp.) and groundnut (*Arachis hypogaea*) are already harvested. Cropland appears in brighter tones than uncultivated land due to its overall lower vegetation cover (Fig. 5). The smooth texture is due to uniform tones within the dark, grey or bright fields (Fig. 5). The irregular spacing of the trees combined with variations in dark tones of vegetation cover causes an intermediate to coarse texture of the uncultivated land in the Corona images (Fig. 5).

In the early dry season false-colour Landsat images of October 1999 (RGB 742), cropland exhibits lighter hues of green compared to the surrounding uncultivated land where vegetation is still vital, resulting in bright green colours. Where vegetation cover is sparse and dry soil is exposed, cropland colour varies from light to dark magenta hues (Fig. 5).

The late dry season Landsat 2 MSS (29 January 1976), Landsat 4 TM (23 February 1988) and Landsat 7 ETM+ (22 May 2002) images are more difficult to interpret. This is due to the low geometric and radiometric

resolution of the MSS data and the high correlation between the signatures of cropped and uncultivated land during the late dry season (January–April) and at the beginning of the wet season (May). Nevertheless, differences in colour, brightness values and texture between the cropland and uncultivated land allow for mapping of cropland and cropland expansion (Fig. 2, Fig. 5).

The panchromatic Corona images and the multiband colour composites of the Landsat MSS, TM and ETM+ images were used as background images for GIS-based mapping. Polygons around cropland areas were digitised on-screen for all dates and area calculations were performed in ArcGIS.

5 Results and discussion

Cropland expansion

The results show that cropland expansion is not continuous but rather a disjunct process with a period of rapid change between

Tab. 2: Cropland expansion rates in Shamushalle enclave.

	1965–1976	1976–1988	1988–2002	1965–2002
Total increase (%)	0	32.6	117.1	187.8
Average annual increase (%)	0	2.4	5.7	2.9

1988 and 2002 (Table 2). Population growth seems not to be a unidirectional driver behind cropland expansion in the different intervals (Tab. 2). If only the years 1965 and 2002 were the temporal endpoints of the study, population growth would appear as a driving cause of cropland increase (Tab. 2). This underscores the importance of including datasets at as many time intervals as possible. The annual rates and the location of cropland expansion after 1988 point to in-migration and the initial conversion of uncultivated land into cropland (Tab. 2, Fig. 5).

The temporal pattern of rapid land-use change after 1988 is characteristic of cropland expansion in all enclaves except Dumburum. The spatial pattern of cropland expansion in Shamushalle reflects official land allocations to the enclave that have led to rapid clearing of uncultivated land around the initial settlement. Cropland expansion in the study area is not random but occurs close to the already existing cropland and settlements (Fig. 5). A detailed discussion of land-use change in the reserves is provided in HOF (2006).

Mixed pixels and area statistics

In general, higher resolution data show more change than coarse resolution data. Sharp boundaries in coarse resolution data are often artefacts caused by mixed pixels rather than discrete breaks in land-use/cover (JENSEN 2000). A general problem with using multisensor data of varying spatial and radiometric resolution is that the characteristics of mixed pixels and their influence on area statistics is difficult to ascertain. The magnitude of the influence can be estimated when comparing the area classified as crop-

land in the Corona image (1965) and Landsat MSS image (1976). The overall area mapped as cropland in Shamushalle enclave has not changed (Tab. 2). If the superior spatial resolution of the Corona image would have been exploited, excluding the visible patches of field trees, windbreaks, rock outcrops or erosion gullies from the cropland area, a total of 87 hectares (13.4%) would have been considered cropland expansion by 1976. This internal differentiation of cropland is not visible on the lower spatial resolution Landsat MSS or Landsat TM and ETM+ images. Thematic classification consistency requires generalising the observation from the higher resolution image to a minimum mapping unit of 79-metre or 30-metre pixels consistent with the lower resolution images (TAPPAN et al. 2000). Within the area mapped as cropland in 1965 this procedure results in “intentional” errors of commission (erroneously assigning pixels to cropland in the Corona image). When mapping the Landsat images, this error of commission is not intentional but a result of the lower spatial resolving power of the Landsat data. The magnitude of this error cannot be assessed for the areas where full thematic land-use conversion has taken place after 1965 unless higher resolution data were available for direct comparison. This also applies to the assessment of the impact of mixed pixels along the edges of cropland on area statistics. This impact could be assessed in quantitative terms if images from sensors with different spatial resolution were available for the same year.

The present information on cropland areas does not reach the accuracy of land parcel boundaries. More information than the data are capable of supplying cannot be extracted from the data. However, the

analysis of the available multisensor data supplies information on cropland areas and the rate and extent of cropland expansion in an area for which agricultural references are very scarce or nonexistent. Future changes can be assessed against the established baseline dataset. The achieved accuracy can be considered sufficient for the characterisation of the process of change.

6 Conclusions

There is limited availability of repeated coverage with medium resolution remote sensing data (Landsat MSS, TM, ETM+, SPOT HRV) for the West African drylands. Data from multiple sensors can be used efficiently for the monitoring of land-use change. The use of these mutisensor data would be extremely difficult with algorithm-based approaches to change detection. Seasonality exacerbates the difficulties of relying on spectral properties for thematic classification and change detection.

This situation is not a specific of the study area but may be considered typical for local-scale change detection studies in the Sudano-Sahelian zone. Visual interpretation of data acquired by multiple sensors in different and even adverse seasons allows for the assessment of the rates and the spatial extent of cropland expansion. Land-cover conversion due to land-use change can be monitored in spatially and temporally explicit terms. This information is pertinent to linking household-level information to remote sensing data for the understanding of local-scale land-use dynamics in the Sudano-Sahelian zone.

Acknowledgements

Funding for research was supplied in part by the DG XII of the European Union under the INCO-DC project "Development of sustainable pastoral and agro-pastoral livelihood systems in West Africa" contract ERB IC18-CT98-0280.

Literature cited

- CIESIN (Center for International Earth Science Information Network), International Food Policy Research Institute & World Resources Institute (eds.), 2000: Gridded Population of the World (GPW) version 2. <http://sedac.ciesin.org/plue/gpw> Accessed 17/05/2004, 14:14.
- Committee On The Geographic Foundation For Agenda 21, Committee on Geography, Mapping Science Committee, National Research Council, 2002: Down to Earth: Geographical Information for Sustainable Development in Africa. 172 p., National Academies Press, Washington D.C.
- FOODY, G.M., 2001: Monitoring the magnitude of land-cover change around the southern limits of the Sahara. – *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **67** (7): 841–847.
- GEIST, H.J. & LAMBIN, E.F., 2004: Dynamic causal patterns of desertification. – *Bioscience*, **54** (9): 817–829.
- GLCF (Global Land Cover Facility), 2005: <http://glcf.umiacs.umd.edu/index.shtml> Accessed 08/11/2005, 13:16.
- HIERNAUX, P. & TURNER, M.D., 2002: The Influence of Farmer and Pastoralist Management Practices on Desertification Processes in the Sahel. – In: REYNOLDS, J.F. & STAFFORD SMITH, M.D. (eds.): *Global Desertification: Do Humans Cause Deserts?* – Dahlem University Press, Berlin, pp. 136–148.
- HOF, A., 2006: Land Use Change and Land Cover Assessment in Grazing Reserves in Northwest Nigeria. – *Bochumer Geographische Arbeiten* 74, 114 p., Geographisches Institut der Ruhr-Universität Bochum.
- HOSTERT, P., ROEDER, A., HILL, J., UDELHOVEN, T. & TSIOURLIS, G., 2003: Retrospective studies of grazing-induced land degradation: a case study in central Crete, Greece. – *International Journal of Remote Sensing*, **24** (20): 4019–4034.
- JENSEN, J.R., 2000: *Remote Sensing of the Environment. An Earth Resource Perspective.* – 1st Ed., 544 p., Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- JENSEN, J.R., 2005: *Introductory Digital Image Processing. A Remote Sensing Perspective.* – 3rd Ed., 526 p., Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- LAMBIN, E.F., 1996: Change Detection at Multiple Temporal Scales: Seasonal and Annual Variations in Landscape Variables. – *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **62** (8): 931–938.

- LAMBIN, E.F. & EHRLICH, D., 1997: Land-cover changes in Sub-Saharan Africa (1982–1991): Application of a change index based on remotely sensed surface temperature and vegetation indices at a continental scale. – *Remote Sensing of Environment*, **61** (2): 181–200.
- LAMBIN, E.F., BAULIES, X., BOCKSTAEEL, N., FISCHER, G., KRUG, T., LEEMANS, R., MORAN, E.F., RINDFUSS, R.R., SATO, Y., SKOLE, D., TURNER II, B.L., & VOGEL, C., 1999: Land-Use and Land-Cover Change (LUCC) Implementation Strategy. 126 p., IGBP Secretariat, Royal Swedish Academy of Sciences, Stockholm.
- LEPERS, E., LAMBIN, E.F., JANETOS, A.C., DEFRIES, R., ACHARD, F., RAMANKUTTY, N. & SCHOLES, R.J., 2005: A synthesis of information on rapid land-cover change for the period 1981–2000. – *Bioscience*, **55** (2): 115–124.
- LOVELAND, T.R., ZHILIANG, Z., OHLEN, D.O., BROWN, J.F., REED, B.C. & YANG, L., 1999: An Analysis of the IGBP Global Land-Cover Characterization Process. – *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **65** (9): 1021–1032.
- MORTIMORE, M. & ADAMS, W.M., 1999: Working the Sahel. Environment and Society in Northern Nigeria. – 226 p., Routledge, London.
- POWELL, J.M., PEARSON, R.A. & HIERNAUX, P., 2004: Crop-livestock Interactions in the West African Drylands. – *Agronomy Journal*, **96** (2): 469–483.
- REENBERG, A., 1994: Land-use Dynamics in the Sahelian Zone in Eastern Niger – Monitoring Change in Cultivation Strategies in Drought Prone Areas. – *Journal of Arid Environments*, **27** (2): 179–192.
- RIM (Resource Inventory and Management Limited), 1991: Woody Vegetation Cover and Wood Volume Assessment in Northern Nigeria. – 38 p., RIM, St. Helier, UK.
- SOHL, T.L., GALLANT, A.L. & LOVELAND, T.R., 2004: The characteristics and interpretability of land surface change and implications for project design. – *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **70** (4): 439–448.
- STÉPHENNE, N. & LAMBIN, E.F., 2001: A dynamic simulation model of land-use changes in Sudano-Sahelian countries of Africa (SALU). – *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **85** (1-3): 145–161.
- TAPPAN, G.G., HADJ, A., WOOD, E.C. & LIETZOW, R.W., 2000: Use of Argon, Corona, and Landsat Imagery to Assess 30 Years of Land Resource Change in West-Central Senegal. – *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **66** (6): 727–735.
- TOWNSHEND, J.R.G., JUSTICE, C.O., LI, W., GURNEY, C. & MCMANUS, J., 1991: Global land cover classification by remote sensing: present capabilities and future possibilities. – *Remote Sensing of Environment*, **35** (1-3): 243–255.
- TURNER, M.D. & CONGALTON, R.G., 1998: Classification of multi-temporal SPOT-XS satellite data for mapping rice fields on a West African floodplain. – *International Journal of Remote Sensing*, **19** (1): 21–41.
- USGS (United States Geological Survey) 2001: EROS Data Center. [http:// edcwww.cr.usgs.gov/webglis/](http://edcwww.cr.usgs.gov/webglis/) Accessed 12/06/2001, 12:09.
- USGS, 2003: Earth Explorer. <http://edcsns17.cr.usgs.gov/EarthExplorer/Accessed31/10/2003>, 14:55.

Anschrift der Autorin:

Dr. rer. nat. ANGELA HOF
Geographisches Institut, Ruhr-Universität
Bochum, Universitätsstrasse 150, D-44780
Bochum, Tel.: +49-234-32-23375, Fax: +49-234-
32-14180, e-mail: angela.hof@rub.de

Manuskript eingereicht: April 2006
Angenommen: Mai 2006

Berichte



Europäische Kommission und EUSI unterzeichnen Rahmenvertrag zur Lieferung von Satellitenbildern sehr hoher Auflösung

Die Europäische Kommission hat mit der European Space Imaging (EUSI) am 5.4. 2006 einen Rahmenvertrag zur Lieferung von Satellitenbildern sehr hoher Auflösung (Very High Resolution Satellite Imagery-VHR) in globalem Rahmen abgeschlossen. Der Vertrag läuft über 4 Jahre und umfasst ein Volumen von 11,4 Mio EUR.

Das Bildmaterial wird aufgenommen von IKONOS-, OrbView- und später auch von GeoEye-1- Satelliten.

Der größte Teil der Bilder wird empfangen und verarbeitet vom EUSI- eigenen Satellitenbild – Empfangs und Verarbeitungszentrum beim DLR Zentrum in Oberpfaffenhofen. Von dort aus erfolgt die Datenverteilung an die europäischen Interessenten und zwar Minuten nach der Bildaufnahme über optische Hochgeschwindigkeits-Glasfaserleitungen.

Die Europäische Kommission will die IKONOS- und OrbView- Bilddaten für landwirtschaftliche Überwachungsprogramme sowie für humanitäre und Sicherheitsprojekte weltweit verwenden.

Quelle: Presseinformation European Space Imaging GmbH vom 23. 5. 2006, e-mail: media@eu.spaceimaging.com

International Summer School „Digital Recording and 3D Modeling“ vom 24. bis 29. April 2006 in Aghios Nikolaos auf Kreta

Beim ISPRS Kongress in Istanbul 2004 wurde in der Kommission VI „Education and Outreach“ die Special Interest Group (SIG)

„Technology Transfer Caravan“ installiert, mit den Professoren ARMIN GRÜN und SHUNJI MURAI als Chairmen. Ziel der SIG ist unter anderem die Förderung von Wissens- und Technologie-Transfer durch Initiierung und Organisation von Seminaren, Tutorials und Workshops mit spezieller Berücksichtigung der Bedürfnisse von Entwicklungsländern. Vor allem Studenten und junge Wissenschaftler sollen zur Teilnahme angeregt werden. Weitere Aktivitäten der SIG liegen in der Entwicklung und Bereitstellung von Lehrmaterial und Trainingsprojekten, inklusive e-learning (siehe: www.commission6.isprs.org/wg6/).

Die weit gefasste Konzeption der SIG erlaubt flexible und differenzierte Ausgestaltungen und Vorgehensweisen. Unterschiedliche Veranstaltungsformen wie Workshop, e-learning, Kurs, Summer School, Konferenz etc. können angeboten werden, und zwar in internationalem Rahmen oder lokal bzw. regional ausgerichtet. Dies lässt sich auch an den bisherigen bzw. geplanten Aktivitäten der SIG ablesen: Distance Education, Training Course, Training Workshop, Summer School, Student Tutorial usw. wurden oder werden angeboten. Inhalt einer Veranstaltung und „Schwierigkeit“ des Stoffes können auf den jeweiligen Teilnehmerkreis zugeschnitten werden. Der zu vermittelnde Kenntnisstand kann den ganzen Bereich Photogrammetrie, Fernerkundung, GIS etc. umfassen. So funktioniert die SIG innerhalb der ISPRS kommissionsübergreifend und kann damit auch Bezüge und Zusammenhänge zwischen Teilgebieten aufzeigen, die sonst nicht ohne weiteres erkennbar wären.

Nun zur aktuellen Veranstaltung, der International Summer School „*Digital Recording and 3D Modeling*“ in Aghios Nikolaos. Neben der SIG traten als Veranstalter auf: das Department of Rural and Surveying Engineering der Aristoteles Universität in Thessaloniki (Prof. PATIAS) und das Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der

ETH Zürich (Prof. GRÜN). Zielgruppe waren im Wesentlichen junge Forscher und Doktoranden. Die ca. 80 Teilnehmer aus 22 Ländern entsprachen weitgehend dieser Zielgruppe. Die Vorträge wurden von 12 renommierten und kompetenten Wissenschaftlern und Praktikern gehalten und betrafen verschiedenste Aspekte der Datenerfassung, Datenverarbeitung, Objektmodellierung und Objektdarstellung.

Der Themenkreis umfasste:

- hoch auflösende Satellitensensoren (Datenerfassung, Modellierung, Produkte),
- Digitale Luftbildkameras,
- Georeferenzierung mit GPS/INS,
- Bildzuordnung, Punktübertragung, DSM- Generierung,
- automatische und semi-automatische Objektextraktion,
- Laserscanning (terrestrisch bzw. vom Flugzeug aus),
- Digitale Kameras für die Nahbereichsphotogrammetrie,
- Testfeld- und Simultankalibrierung von digitalen Kameras,
- Panoramaaufnahmen,
- Texture Mapping und Visualisierung,
- Anwendungen und Projektberichte.

Auf einzelne Vorträge bzw. Vortragende soll hier nicht näher eingegangen werden. Insgesamt wurde umfangreiches Wissen vermittelt, meist von den Grundlagen bis zu den neuesten Forschungsergebnissen – manchmal vielleicht sogar zu viel, so dass die Zuhörer bei einem eineinhalb- bis zweistündigen Vortrag mit mehr als 100 Folien an die Grenze der Aufnahmefähigkeit kamen. Zum Glück existieren ein Band mit den abgedruckten Folien und eine CD, so dass manches nachgearbeitet werden kann. Für die jungen Teilnehmer war es sicherlich von Bedeutung, zu erfahren, dass und wie viele Probleme noch ungelöst sind: Stoff für Untersuchungen in den nächsten Jahren ist reichlich vorhanden! Zusätzlich zu den Vorträgen gab es eine Reihe von Software-Demonstrationen, im Wesentlichen aus dem universitären Bereich. Sie boten eine weitere, willkommene Gelegenheit für Diskussionen und den intensiven Informationsaustausch unter den Teilnehmern.

Natürlich war Kreta als Veranstaltungsort der Summer School eine Reise wert. Auf einer Exkursion wurde die nähere Umgebung von Aghios Nikolaos samt venezianischer Festungsinsel und byzantinischer Kirchenfresken erkundet – zusammen mit der griechischen Gastfreundschaft ein bleibendes Erlebnis für alle Teilnehmer. Abschließend sei noch einmal betont, dass mit der SIG *“Technology Transfer Caravan“* ein ideales Instrument zur Verbreitung des photogrammetrischen Wissens zur Verfügung steht.

JÜRGEN PEIPE, Neubiberg

Arbeitskreis – Beratung „Sicherheit für Geo-Web-Services“

am 17. Mai 2006 in München

Dieses erste Treffen des Arbeitskreises *„Sicherheit für Geo-Web-Services“* wurde an der Universität der Bundeswehr München durchgeführt.

Der Arbeitskreis existiert bereits seit 2005 und bündelte bisher Aktivitäten der Universität der Bundeswehr, der Technischen Universität und der Ludwig-Maximilians-Universität in diesem Bereich.

Ziel des Treffens war die Öffnung des Arbeitskreises für weitere Interessenten. Die rege Teilnahme zeigt die Relevanz des Themas. Unter den Teilnehmern waren neben großen Herstellern von Geo-Informationssystemen auch kleine und mittelständische Unternehmen und Anwender aus dem öffentlichen Bereich auf kommunaler bis hin zur Landesebene.

Das wesentliche fachliche Interesse betrifft die gezielte Kontrolle des Zugangs zu mit Internet-Technologien angebotenen geografischen Daten und Diensten, so dass es möglich wird, auch sensitive, z. B. personenbezogene Daten den Zugriffsberechtigten mit standardisierten und flexiblen Techniken bereit zu stellen.

Als wichtigste Erwartungen an den Arbeitskreis nannten die Teilnehmer den Informationsaustausch und die Herstellung von Kontakten. Zukünftig ist auch die Erarbeitung von Informationsschriften und die An-

bahnung von Projekten angedacht. Arbeitskreismitglieder sind auch aktiv an Standardisierungsaktivitäten auf europäischer und internationaler Ebene beteiligt.

Der Arbeitskreis wird getragen vom Verein „*Runder Tisch GIS e.V.*“ und steht Mitgliedern und Nichtmitgliedern offen. Leiter des Arbeitskreises ist Prof. Dr. GUNNAR TEEGE von der Universität der Bundeswehr München.

GABRIELE AUMANN, München

ISPRS Commission VII Mid-Term Symposium: *From Pixel to Processes* vom 8. bis 11. Mai 2006 in Enschede, Niederlande

Das Symposium der ISPRS Commission VII in Enschede eröffnete die Reihe der insgesamt acht Kommissionssymposien in diesem Jahr. Gastgeber war das ITC in Enschede, dessen Räumlichkeiten den äußeren Rahmen dieser Veranstaltung bildeten.

Nach der Umstrukturierung der ISPRS-Kommissionen* und der damit verbundenen Einführung einer neuen Kommission VIII, in deren Mittelpunkt ebenfalls die Fernerkundung steht, – wenn auch unter anderem Fokus – ist es natürlich von Interesse, welche Beteiligung und welche Resonanz die Symposien der Kommissionen finden werden. Mit 500 registrierten Teilnehmern (inkl. ITC Mitarbeitern und Studenten) hat auch die „neue“ Kommission VII ihren Platz gefunden. Die Herkunft der Teilnehmer dieser Veranstaltung war das erste Mal nach der Neuorganisation stark mit dem Austragungsort korreliert: 214 Teilnehmer aus Europa, gefolgt von 164 aus Asien und Australien und 65 aus Afrika. Den Teilnehmern wurde ein Programm geboten, das 24 Technische Sitzungen, 3 Sondersitzungen, 2 Plenarsitzungen und 3 Posterveranstaltungen umfasste. Insgesamt wurden in diesen Sitzungen 108 Vorträge und 123 Posterbeiträge präsentiert – zumindest laut endgültigem Programm. Die Technischen Sitzungen fanden parallel als dreizügige Veranstaltungen statt. Die Postersitzungen waren von mon-

tags bis donnerstags am frühen Nachmittag eingeordnet, gefolgt von den Plenarsitzungen bzw. der Abschlussveranstaltung. Im Vergleich zum ISPRS-Kongress in Istanbul ist positiv zu vermerken, dass nur zwei der Vortragenden nicht erschienen waren. In den Postersitzungen waren jedoch wieder Ausfallquoten von bis zu 50 % wie beim letzten Kongress festzustellen.

Die Qualität der Präsentationen war unterschiedlich. Bei Postern reichte es vom einfachen Ausdruck des Beitrages – was heute eigentlich nicht mehr vorkommen sollte – bis zu sehr gut strukturierten übersichtlichen Postern. Neben der Darstellung war jedoch auch der Inhalt der Vorträge und der Poster von sehr unterschiedlicher Qualität. Aus diesem Grund stellt sich meines Erachtens sicherlich wieder die Frage, ob die Auswahl auf Grundlage einer erweiterten Zusammenfassung hinreichend ist.

Einen Überblick über die verschiedenen Sitzungen gibt das endgültige Programm, das auf der Web-Seite des Symposiums (<http://www.itc.nl/isprsc7/symposium/default.aspx>) verfügbar ist. Aufgrund der Vielzahl der Beiträge und der parallelen Sitzungen, soll an dieser Stelle nicht auf einzelne Beiträge eingegangen, sondern ein zusammenfassender Überblick gegeben werden.

Bei der Mehrzahl der Beiträge stand die Anwendung von Fernerkundungsmethoden im Vordergrund. Hier konnte man eine breite thematische Streuung von Themen feststellen. Sie reichte von klassischen Themen wie z. B. der Landnutzung auf der Basis bekannter Sensoren mit mittlerer geometrischer Auflösung bis zur Auswertung hyperspektraler Daten. Ein Versuch der Einteilung in die Bereiche Grundlagen (3), Änderungsdetektion (5), hyperspektrale Fernerkundung (3), Radar (3), sowie Allgemeines zu Verfahren (6) erbrachte die jeweils in Klammern angegebene Anzahl von Technischen Sitzungen pro Bereich. Bei den nicht in dieser Einteilung erfassten Sitzungen ist eine eindeutige Zuordnung zu den angeführten Themenbereichen schwer, da in den Vorträgen verschiedene Bereiche behandelt wurden. Im Vergleich zum Programm in Istanbul waren Beiträge über Anwendungen

* Siehe PFG 6/2004, S. 538 und S. 548

und Verfahren auf der Basis hoch auflösender Daten für Fragestellungen im städtischen Anwendungsbereich rein subjektiv insgesamt weniger vertreten. Zu diesem Themenbereich gab es keine eigene Sitzung. Viele Beiträge bezogen sich auf Studien und Pilotprojekte, wenige auf wirklich operativen Einsatz der Fernerkundung, so dass hier keine Änderung seit dem Kongress in Istanbul festzustellen ist. Interessant waren in diesem Zusammenhang die Übersichtsvorträge der Arbeitsgruppenleiter im Rahmen der Plenarsitzungen, in denen versucht wurde, den Stand einzelner Arbeitsgruppen darzustellen.

Insgesamt war das ISPRS-Symposium eine gelungene Veranstaltung, die neben den fachlichen Aspekten Gelegenheit gab, persönliche Kontakte zu pflegen bzw. neue zu begründen. Verbleibt am Schluss den Organisatoren einen Dank auszusprechen und den Veranstaltern des Symposiums der Kommission VIII einen ähnlichen Erfolg für ihre Veranstaltung zu wünschen.

UWE WEIDNER, Karlsruhe

EuroSDR 108th Steering Committee Meeting

am 2. 6. 2006 in Skåvsjöholm, Schweden

Beraten und beschlossen wurden u. a.:

- das Forschungsprogramm der EuroSDR für 2007 – 2010 und die
- die engere Kooperation zwischen EuroSDR und ISPRS.

Im Jahre 2006 scheidet der bisherige Präsident der EuroSDR, KEITH MURRAY, UK aus diesem Amt. Sein Nachfolger für die nächsten zwei Jahre wird STIG JÖNSSON, Generaldirektor des National Land Survey of Sweden.

KEITH MURRAY übernimmt 2006 die Leitung der Kommission 4: „Core Geoinformation Databases“. Prof. MIKE JACKSON, Direktor des „Centre for Geospatial Science“ an der Universität Nottingham, wird neuer Präsident der Kommission 5: „Integration and Delivery of Data and Services“.

PETER WOODSFORD von LaserScan, bisheriger Präsident der Kommission 5, übernimmt eine neue „Technology Watch“ Gruppe.

EuroSDR Secretariat:
Department of Spatial Information Sciences
The Dublin Institute of Technology
Bolton Street, Dublin 1, Ireland
Tel.: + 353-1-402 3933,
Fax: + 353-1-402 3999
e-mail: stephney.moore@dit.ie

Quellen: – *EuroSDR News* 2006-2, June 2006
– <http://www.eurosdri.net>
– PFG 3/2005, S. 254/255

AGIT 2006 – Symposium und Fachmesse für Angewandte Geoinformatik vom 5. bis 7. Juli 2006 in Salzburg

Die AGIT 2006 an der Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Salzburg wurde von über 1000 GIS ExpertInnen und Interessierten besucht. Dies bestätigt den hohen Stellenwert der im deutschsprachigen Raum einzigartigen Kombination aus Fachausstellung und Symposium.

AGIT EXPO – Ideale Kommunikationsplattform für GIS Anwender und Interessierte
Die AGIT EXPO stellte mit über 60 ausstellenden Unternehmen, Verbänden und Behörden einen wichtigen Treffpunkt für Anwender von raumbezogenen Informationstechnologien und Geoinformatik dar.

AGIT Symposium erstmals international
Mit über 120 Fachvorträgen, Spezialforen und Workshops deckte das attraktive Angebot die breite Palette GIS – bezogener Themen ab. Die AGIT 2006 begeisterte neben der deutschsprachigen GIS Community heuer zum ersten Mal auch ein breites internationales Publikum.

Internationale Konferenz zur objektbasierten Fernerkundung im Vorfeld der AGIT
Die „OBIA – 1st International Conference on Object-based Image Analysis“, die im Vorfeld der AGIT bereits am Dienstag startete, wurde von über 120 Fernerkundungsspezialisten, GIS-ExpertInnen und Interessierten aus Ländern wie Südafrika, Philip-

pinen oder Kanada besucht. Dabei wurden neue Forschungsfragen intensiv diskutiert und zahlreiche Lösungsansätze in der computergestützten Bildanalyse von Erdbeobachtungsdaten vorgestellt. Wissenschaftler wie Anwender tauschten innovative Ideen aus, woraus sich Synergien und neue Kooperationen ergaben. Das internationale Publikum war gleichermaßen begeistert von dem anspruchsvollen inhaltlichen Niveau, der reibungslosen Organisation wie auch dem beeindruckenden Rahmen der Veranstaltung.

Spezialforum Verkehrsmanagement bei Großveranstaltungen am AGIT-Mittwoch
Der große Erfolg des gut besuchten Spezialforums „Verkehrsmanagement bei Großveranstaltungen“ am AGIT-Mittwoch, in dem aktuelle Beispiele intermodaler Verkehrslenkung bis hin zu innovativem Infotainment bei Großveranstaltungen diskutiert wurden, machte die Wichtigkeit einer effizienten Event- und Verkehrslogistik deutlich. Anhand aktueller Beispiele informierten Verkehrsmanagement-Experten aus Deutschland und Österreich unter anderem über Erfahrungen bei den Olympischen Spielen 2006 in Turin und der Fußball-WM 2006.

AGIT Special Geoinformation und Entwicklungszusammenarbeit

Das diesjährige in englischer Sprache abgehaltene AGIT SPECIAL betonte die Wichtigkeit zielführender Investitionen in Informationstechnologie und digitale Planungskultur in den Entwicklungsregionen unserer Erde.

Internationale GIS – Experten aus Ländern wie Russland, Marokko oder Ecuador

und Vertreter internationaler Organisationen diskutierten unter dem Motto „*Bridging the divide through partnerships*“ aktuelle Themen aus dem Bereich Geoinformation und Entwicklungszusammenarbeit. Über die Notwendigkeit langfristiger internationaler Kooperationen waren sich die AGIT Special Konferenzteilnehmer insgesamt einig.

Das Z_GIS ist als größte nicht kommerzielle österreichische Einrichtung im Bereich Geoinformatik Katalysator der „*GIS for Development*“ – Projekte und trägt über das langjährige Eigenengagement im südlichen Afrika, in Indien, China, Zentralasien sowie Lateinamerika die Erfahrungen in breite Kreise der Wirtschaft und Verwaltung hinaus.

Charmante Konferenzstadt Salzburg mit Flair

Das wunderschöne Ambiente der Naturwissenschaftlichen Fakultät in der Mozartstadt zeigte sich bei traumhaftem Sommerwetter von seiner besten Seite und lud noch lange nach Besuch der Vorträge und Fachausstellung zu dem einen oder anderen abendlichen Plausch im Freien.

Veranstaltungsort AGIT 2006

Universität Salzburg, Naturwissenschaftliche Fakultät, 5020 Salzburg, Hellbrunner Straße 34, Österreich

Veranstalter

Z_GIS Zentrum für GeoInformatik – Universität Salzburg, www.zgis.at
Gesamtleitung: Prof. Dr. JOSEF STROBL
Kontakt: Dagmar Baumgartner, e-mail: presse@agit.at, Tel.: +43-0662-8044 5224
www.agit.at

Hochschulnachrichten

Universität Bonn

Geodätisches Kolloquium am 18.5.2006 zum 60. Geburtstag von Prof. Dr.-Ing. WOLFGANG FÖRSTNER

Das Institut für Photogrammetrie der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn hatte zu einem festlichen Kolloquium eingeladen und etwa 150 Teilnehmer waren gekommen, um den wissenschaftlichen Ausführungen zweier international bekannter Fachleute zuzuhören und um WOLFGANG FÖRSTNER zu seinem Geburtstag zu gratulieren.

Die Laudatio zum 60. Geburtstag von WOLFGANG FÖRSTNER wurde verlesen von Frau Prof. Dr. HELGA SAUERWEIN, Prodekanin der Landwirtschaftlichen Fakultät. Sie würdigte insbesondere die wissenschaftlichen Leistungen des Jubilars seit seiner Berufung als Nachfolger von Prof. GÜNTHER KUPFER im Jahre 1989, anerkannt im nationalen und internationalen Rahmen.

Prof. Dr. Ir. **GEORGE VOSSELMAN**, ITC Enschede, Niederlande sprach zum Thema „*Perspektiven für die Erfassung großmaßstäbiger Geo-Informationen*“.

Er würdigte die hohe Bodenauflösung der Bilddaten, die mit den neuen weltraumgestützten Satelliten Quickbird (0,6m), IKONOS und OrbView-3 (je 1,0m) erreicht werden und allgemein zur Verfügung stehen. Außerdem ist auch die Entwicklung der Datengewinnung mit Laserscannern sehr gut vorangekommen.

Bei den Plattformen besteht die Tendenz hin zu kleineren, billigeren Lösungen, wie UAV-Unmanned Airborne Vehicle, Modellflugzeugen und Modellhubschraubern.

Die Datenverarbeitung mit »Point Cloud Processing« ist Erfolg versprechend. Und die Kartierung/Kartennachführung wird immer weiter automatisiert, sicher aber die Marke 100% nie erreichen.

3D City Modeling ist eine perspektivische Technik, weit fortgeschritten, aber noch weiter entwicklungsfähig.

Fazit für die Perspektiven der Erfassung großmaßstäbiger Geo-Informationen: Es bestehen optimistische Aussichten für hohe Auflösung der Daten und für die Entwicklung flexibler, kostengünstigerer Plattformen.

O. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. **FRANZ LEBERL**, TU Graz, Österreich referierte über „*Internet-Inspiration für eine »Neue Photogrammetrie«*“.

Computer Vision, Computer Graphics, Maschinelles Sehen, Tracking, Roboting sind heute wesentliche Bestandteile/Methoden der Informatik. Die Photogrammetrie kann man heute besser definieren als »Objektmodelle aus Bildern«. Dazu gehören digitale Kameras zur Bildgewinnung, wie UltraCam-D, Scanner, Image Server (Bildverwaltung), Software.

FRANZ LEBERL charakterisiert die Zukunft der Photogrammetrie wie folgt: Weg von den 2 Stereobildern! Hin zu digitaler Bildgewinnung mit 4, 10, 100 und mehr Bildern! Weg vom Film! Die Terabyte Speicherplatte ist seit 2004 verfügbar zu annehmbaren Preisen, Raumdaten sind überall verfügbar, z. B. bei Google Earth. City Models sind ein Beispiel für vielseitig nutzbare Produkte.

Dieses außerordentlich interessante und erfolgreiche Festkolloquium wurde abgeschlossen mit einem Empfang des Instituts für Photogrammetrie der Universität Bonn. Dabei hatten die zahlreichen Gäste aus allen Teilen Deutschlands und dem Ausland und auch die Mitarbeiter des Jubilars Gelegenheit, Erfahrungen und Informationen auszutauschen.

KLAUS SZANGOLIES, Jena

ETH Zürich

Weiterbildungszertifikatslehrgang
Räumliche Informationssysteme

An der ETH Zürich (Departement Bau, Umwelt und Geomatik) findet im Winterse-

mester 2006/2007 zum wiederholten Mal der Weiterbildungszertifikatslehrgang (ehemals Nachdiplomkurs) über räumliche Informationssysteme (RIS) statt. Der Kurs richtet sich an Fachleute, die sich in ihrem Berufsfeld vorwiegend mit Geodaten befassen. Vermittelt wir das erforderliche Wissen über eine effiziente und moderne Erfassung, Verwaltung, Analyse und Darstellung raumbezogener Daten. Die Teilnehmer erhalten einen Überblick über verschiedene Datenakquisitions- und Informationssysteme und lernen ihre Grundfunktionen und Einsatzmöglichkeiten kennen.

Der Unterricht wird in Form von Vorlesungen, Übungen, Demonstrationen und Fallstudien erteilt. In der letzten Kurswoche ermöglichen Wahlmodule eine gezielte Vertiefung aktueller RIS-Themen. Diese Module können auch separat besucht werden.

Der Weiterbildungszertifikatslehrgang dauert insgesamt fünf Wochen (200 Stunden). Es ist eine gestaffelte Ausbildung von einer Kurswoche (40 Stunden) pro Monat. Die genauen Termine sind:

6.–10.11. 2006, 4.–8.12. 2006, 8.–12.1. 2007, 5.–9.02. 2007, 12.–16.3. 2007.

Anmeldeschluss ist der 15. Sep. 2006.

Die Kursgebühr beträgt 2930.–Fr.

Detaillierte Informationen finden sich auf der Webseite: www.photogrammetry.ethz.ch/ndk.

Auskünfte erteilt das Lehrgangs-Sekretariat, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH Hönggerberg, 8093 Zürich (Frau S. SEBESTYEN, 044-633-3157, sebestyen@geod.baug.ethz.ch; Frau K. WOLFF, 044-633-3054, wolff@geod.baug.ethz.ch).

Buchbesprechung

RAINER SANDAU, (Hrsg.), 2005: Digitale Luftbildkamera – Einführung und Grundlagen. 342 S., kartoniert, Wichmann, ISBN 3-87907-391-0

Passend zum aktuell stark wachsenden Markt der digitalen Luftbildkameras hat RAINER SANDAU das Buch „Digitale Luftbildkamera – Einführung und Grundlagen“ herausgegeben, welches von einem insgesamt vierzehnköpfigen Autorenteam, bestehend aus Mitarbeitern des DLR, der Leica Geosystems und zwei Universitäten, verfasst wurde. Sechs Jahre nach Ankündigung der ersten kommerziellen digitalen Luftbildkameras auf dem ISPRS-Kongress in Amsterdam im Jahre 2000 ist nahezu jede Neu- oder Ersatzbeschaffung einer Luftbildkamera eine digitale Luftbildkamera. Das Buch versteht sich als kompakte Darstellung aller für den Bau einer digitalen Luftbildkamera benötigten Komponenten. Als potentieller Leserkreis sind Manager, die über eine Anschaffung einer neuen Luftbildkamera entscheiden wollen, wie auch die zukünftigen

Operateure dieser Kameras und Studenten angesprochen.

In der Einleitung (32 Seiten) werden nach einer kurzen Entwicklungsgeschichte von der analogen zur digitalen Luftbildkamera die beiden verschiedenen Anwendungsfelder – Flugzeug- und Satellitenkamera und die beiden unterschiedlichen marktreifen Konzepte Matrix- und Zeilenkamera erläutert. Abschließend werden die aktuell verfügbaren kommerziellen Systeme kurz vorgestellt.

Es folgt ein äußerst umfangreiches Kapitel mit den physikalischen und mathematischen Grundlagen (108 Seiten). Dieses dürfte insbesondere für Studierende und andere an den theoretischen Grundlagen Interessierte hilfreich sein. Einen großen Teil nimmt hier die sehr formale Darstellung der Fourier-Transformation sowie der Signalabtastung ein, bevor das Kapitel mit einer anschaulichen Erläuterung der für Kameras essenziellen Sensororientierung abschließt.

Nach einem kurzen Kapitel (12 Seiten) über die Atmosphäre und das Strahlungsan-

gebot am Sensor durch die Aufnahmeobjekte kommt man zum umfangreichsten Kapitel (128 Seiten) des Buches, das sich mit dem Aufbau einer digitalen Kamera selbst beschäftigt. Es beginnt mit einem Unterkapitel über Optik und Mechanik, welches wohl auch teilweise in das Grundlagenkapitel 2 gepasst hätte, geht dann über zu Filtern und optoelektronischen Wandlern, bevor neben der sensornahen Elektronik (wie z. B. CCD-Ansteuerung), die benötigten weiteren Komponenten wie digitaler Steuerrechner, Datenkompression und Datenspeicherung erläutert werden. Jeweils einen separaten Teil nimmt die Vorstellung des Flugmanagementsystems und des Positions- und Lage-messsystems ein, bevor im abschließenden Abschnitt dieses Kapitels die Zusammenführung all dieser Komponenten auf einer Montageplattform dargestellt wird. Ein kleines Manko, auffällig in diesem Kapitel, ist die nicht durchgehend gleich hohe Qualität der Abbildungen.

Es folgen nun noch ein kurzes Kapitel (12 Seiten) über den wichtigen Aspekt der geometrischen und radiometrischen Kalibrierung von Kameras sowie eines (4 Seiten) über die Datenprozessierung und Archivierung.

Den Abschluss des Buches bildet das siebte Kapitel (28 Seiten), in dem als Beispiel-

system die nach dem Zeilenkonzept arbeitende **ADS40** von Leica Geosystems vorgestellt wird. Ein ähnliches Kapitel über eine nach dem Matrixkonzept arbeitende Kamera (z. B. **DMC**) wäre wünschenswert gewesen, um insbesondere das Ziel des Buches potentielle Käufer und Operateure zu informieren vollständig zu erfüllen. Auch insgesamt kommt das Matrixkonzept ein wenig zu kurz.

Ein umfangreiches Glossar und Literaturverzeichnis runden das Werk ab. Ebenso sind die in ihrer Anzahl leserfreundlich gering gehaltenen Abkürzungen in einem Abkürzungsverzeichnis erläutert.

Man bemerkt die unterschiedlichen Herangehensweisen der verschiedenen Autoren der einzelnen Abschnitte des Buches, aus deren Beiträgen RAINER SANDAU das Gesamtwerk zusammengestellt hat, nur selten. Diese schwere Aufgabe ist ihm mit fließenden Übergängen und Querverweisen sehr gut gelungen.

Insgesamt ist dem Autorenteam ein hervorragendes Werk gelungen, auch wenn der Untertitel „*Einführung und Grundlagen*“ neudeutsch gesagt ein wenig Understatement ist. „*Grundlagen und Systemaufbau*“ hätte es besser getroffen. Somit hält das Buch sogar mehr, als der Untertitel verspricht.

BIRGER REESE, Hannover

Vorankündigungen

2006

17./18. Oktober: **ISPRS IC WG I/V 2nd International Workshop "The Future of Remote Sensing"** in **Antwerpen**, Belgien. Auskünfte durch: Jürgen Everaerts, Tel.: +32-14-336834, Fax: +32-14-322795, e-mail: jurgen.everaerts@vito.be, www.pegasus4europe.com/

25.–29. Oktober: **Cities and Media: Cultural Perspectives on Urban Identities in a Mediatized World**. ESF-LiU (European Science Foundation-Linköping University) Re-

search Conference in **Vadstena**, Schweden. Chairs: J. Fornäs, Norrköping & N. Couldry. Auskünfte durch: ESF Research Conferences Unit, 1 quai lezay-Marnésia, BP 90015, 67080 Strasbourg cedex, France, e-mail: conferences@esf.org, www.esf.org/conferences

30. Oktober-2. November: 6th International Conference on **Earth Observation & Geoinformation Sciences in Support of Africa's Development (AARSE2006)**, African Association of Remote Sensing of the Environment

in **Cairo**, Ägypten. Auskünfte durch: Sayed M. Arafat, Tel.: +202-622 5818, Fax: +202-622 5800, e-mail: smarafat@narss.sci.eg, www.narss.sci.eg/aarse 2006, http://spie.org/app/conferences/index.cfm

30. Oktober–4. November: **ISPRS Joint Conferences WG V/2, CIPA, VAST, EG 2006 in Cyprus**. Auskünfte durch: Marinos Ioannides, Tel.: +357-22-40 6413, Fax: +357-22-48 8676, e-mail: chairman@cipa2006.org, http://www.vast2006.org/

2.–4. November: Joint Conference of **International Symposium on Remote Sensing & Pan Ocean remote Sensing Conference (ISRS 2006 PORSEC)** in **Busan**, Korea. Auskünfte durch Dr. Hong-Ju Yoon, e-mail: yoonhj@pknu.ac.kr und Dr. Kiwon Lee, e-mail: kilee@hansung.ac.kr, http://www.isrs2006porsec.com

3.–11. November: 9th International Conference of the **Global Spatial Data Infrastructure (GSDI-9) Spatial Information: Tools for Reducing Poverty in Santiago**, Chile. Auskünfte: Organizing Committee, Tel.: +56-2-410 9427, e-mail: gsd9@igm.cl, www.igm.cl/gsd9/

6.–10. November: **ASPRS Fall Meeting in San Antonio** Crowne Plaza Hotel, Texas, USA. Auskünfte durch: ASPRS, Tel.: +1-301-493-0290, Fax: +1-301-493-0208, e-mail: asprs@asprs.org, www.asprs.org/asprs/meetings/calendar.html

10.–12. November: 14th **International Symposium on Advances in Geographic Information Systems (ACM-GIS'06)** in **Arlington**, VA, USA. Auskünfte durch: ITC, Tel.: +31-53-487 4444, Fax: +41-53-487 4400, e-mail: deby@itc.nl, http://www.itc.nl/acm_gis06/

13./14. November: **NatureProtection:GIS**. International Symposium on Geoinformatics in Eurorean Nature Protection Regions in **Dresden**. Auskünfte durch: Prof. Elmar Csaplovics, TU Dresden, Helmholtzstr.10,

01069 Dresden, Tel.: +49-351-463-33372, Fax: +49-351-463-37266 und: Birgit Hantusch, Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V., Weberplatz 1, 01217 Dresden, Tel.: +49-351-4679-273, Fax: +49-351-4679-212

13.–17. November: **Asia-Pacific Remote Sensing in Goa**, Indien. Auskünfte: http://spie.org/app/conferences/index.cfm

20.–24. November: 13th **Australasian Remote Sensing & Photogrammetry Conference 2006** in **Canberra**. Auskünfte durch: Erica Stevens, Tel.: +61-2-6257-3299, Fax: +61-2-6257-3256, e-mail: arspc@icms.com.au, www.arspc.org

4./5. Dezember: Geological Remote Sensing Group Annual Meeting **Remote Sensing for Earth Resources: exploration, extraction & environmental impacts in London**. Auskünfte durch: GRSG Conference Committee, e-mail: GRSG2006@yahoo.com, http://www.grsg.org/meeting.html

4./5. Dezember: **ISPRS 6th International Workshop on Web & Wireless Geographical Information Systems (W2 GIS 2006)** in **HongKong**. Auskünfte durch: Hui Lin, Tel.: +852-2609 6538, Fax: +852-2603 7470, e-mail: huilin@cuhk.edu.hk www.dl.kuis.kyoto-u.ac.jp/w2gis06/

2007

28. Januar–1. Februar: **SPIE Electronic Imaging-Videometrics IX** in **San Jose**, CA, USA. Auskünfte durch: Jeanne Anderson, e-mail: jeanne@SPIE.org, http://electronicimaging.org/

31. Januar/1. Februar: **6. Oldenburger 3D-Tage 2007. Photogrammetrie-Laserscanning-3D-Messtechnik**. Auskünfte durch: Prof. Thomas Luhmann, Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik und Institut für Mess- und Auswertetechnik der FH Oldenburg. www.fh-oow.de/3dtage

Zum Titelbild



Das Titelbild dieser Ausgabe stellt eine Bildpyramide mit sieben Auflösungsstufen dar. Im Zentrum erkennt man das Gelände der Fachhochschule in Oldenburg, gelegen inmitten einer durch Grünanlagen und Ein- und Zweifamilienhäuser geprägten Umgebung, die sich nur ca. 500 m westlich der Innenstadt entfernt befindet. Das Originalbild ist ein Farbluftbild im Maßstab 1:5000, aufgenommen im April 1996.

Weitere Informationen kann der Leser dem Internet unter www.fh-oow.de/institute/iapg/ entnehmen.

THOMAS LUHMANN, Oldenburg

Mitteilungen der DGPF

e-mail – Rundschreiben des Präsidenten der DGPF

An die Mitglieder der DGPF:

Der Vorstand der DGPF versendet regelmäßig Rundschreiben per e-mail an seine Mitglieder mit wichtigen Informationen.

Wenn Sie diesen Service nutzen möchten, dann senden Sie bitte Ihre e-mail-Adresse an

praesident@dgpf.de

Bitte vergessen Sie nicht, im Falle einer Adressenänderung den DGPF-Vorstand darüber zu informieren.