

# PRG

# Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation

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

Jahrgang 2004, Heft 3

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

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

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



E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung  
(Nägele u. Obermiller) Stuttgart 2004



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

---

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



International Society  
for Photogrammetry  
and Remote Sensing

**DAGM**

Deutsche Arbeits-  
gemeinschaft für  
Mustererkennung e.V.



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

---

Herausgeber:

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

Published by:

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

© Gedruckt auf alterungsbeständigem Papier nach ISO 9706-1994

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

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

Verantwortlich für den Inhalt der Beiträge sind die Autoren.

ISSN 1432-8364

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

Schriftleiter: Dr. rer.nat. Carsten Jürgens, Universität Regensburg, Institut für Geographie D-93040 Regensburg, e-mail: [carsten.juergens@geographie.uni-regensburg.de](mailto:carsten.juergens@geographie.uni-regensburg.de) und Dr.-Ing. Eckhardt Seyfert, Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg, Heinrich-Mann-Allee 103, D-14473 Potsdam, e-mail: [eckhardt.seyfert@lvermap.brandenburg.de](mailto:eckhardt.seyfert@lvermap.brandenburg.de)

Erscheinungsweise: 7 Hefte pro Jahrgang.

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

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

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

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

## PFG – Jahrgang 2004, Heft 3

### Inhaltsverzeichnis

---

#### Originalbeiträge

|   |     |
|---|-----|
| PFLUG, M., RINDLE, P. & KATZENBEISSER, R.: True-Ortho-Bilder mit Laser-Scanning und multispektralem Zeilenscanner .....                     | 173 |
| KATZENBEISSER, R. & KURZ, S.: Airborne Laser-Scanning, ein Vergleich mit terrestrischer Vermessung und Photogrammetrie .....                | 179 |
| GRENZDÖRFFER, G.: Das digitale flugzeuggetragene low-cost Fernerkundungssystem PFIFF .....  | 189 |
| HINZ, S.: Detection of Vehicles and Vehicle Queues in High Resolution Aerial Images .....   | 201 |
| WÄLDER, O. & BUCHROITHNER, M.F.: A Method for Sequential Thinning of Digital Raster Terrain Models .....                                    | 215 |
| THINH, N. X.: Entwicklung von Maßen zur Charakterisierung und Bewertung der physischen und funktionalen Kompaktheit von Stadtregionen ..... | 221 |
| ERASLAN, CEM & ALKIS, ZUBEYDE: WEB-basiertes 3D-Campus Informationssystem der Technischen Universität YILDIZ (YTUBIS) .....                 | 233 |

---

#### Berichte und Mitteilungen

##### Berichte

|  |     |
|--|-----|
| 50 Jahre OEEPE/ EuroSDR. Fachtagung 15.–17. 10. 2003 in München ..                       | 239 |
| 3. Oldenburger 3D-Tage, 28./29. 1. 2004 in Oldenburg .....                               | 240 |
| Workshop eLearning in Geoinformatik und Fernerkundung<br>16./17. 2. 2004 in Vechta ..... | 243 |
| ISPRS-Workshop „Panoramic Photogrammetry“ 18.–22. 2. 2004 in<br>Dresden .....            | 245 |
| <b>Buchbesprechungen</b>   |     |
| Luhmann, Thomas: Nahbereichsphotogrammetrie, 2. Aufl. ....                               | 246 |
| Luhmann, Thomas: Oldenburger 3D-Tage 2003 .....  | 248 |
| <b>Vorankündigungen</b> .....  | 249 |
| Zum Titelbild .....  | 251 |

## Ankündigung und Call for Papers

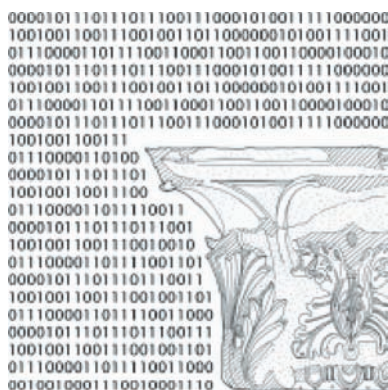


Brandenburgische Technische Universität Cottbus  
Lehrstuhl für Baugeschichte  
Lehrstuhl für Vermessungskunde

modellieren, strukturieren, präsentieren

### Von Handaufmaß bis High Tech - II

Informationssysteme in der historischen Bauforschung



**Interdisziplinäres Kolloquium**

**24.-26. Februar 2005**

#### Themen

Stand der interdisziplinären Zusammenarbeit zwischen Geodäten und Bauforschern in der historischen Bauforschung  
Anwendung moderner Vermessungsverfahren in der Bauaufnahme

Möglichkeiten und Perspektiven der Strukturierung, Modellierung und Archivierung von Daten, Plänen und Informationen

Einsatz raumbezogener Informationssysteme in Bauforschung und Archäologie  
Vorstellung aktueller interdisziplinärer Projekte und Arbeiten

**Rückmeldungen für Beiträge bitte bis Ende Juni 2004 einreichen.**

#### Kontakt

Lehrstuhl für Baugeschichte  
Lehrstuhl für Vermessungskunde  
Fakultät 2  
BTU Cottbus  
Postfach 101344  
03013 Cottbus

Tel.: 0355 – 693117  
Fax.: 0355 – 692984  
Email: [handhigh@tu-cottbus.de](mailto:handhigh@tu-cottbus.de)

[www.tu-cottbus.de/handhigh](http://www.tu-cottbus.de/handhigh)

## PHOTOGRAMMETRIE, FERNERKUNDUNG UND GEOINFORMATION

Arbeitskreis Fernerkundung in der Deutschen Gesellschaft für Geographie (DGfG)  
Ankündigung der Jahrestagung 2004 und Call for Papers  
19.–21. November 2004, Bonn

Zentrum für Fernerkundung der Landoberfläche; c/o Ellen Götz, Walter-Flex-Str. 3, 53113  
Bonn, Tel. 0228/73-4978, Fax 0228/73-6857, [zfl@uni-bonn.de](mailto:zfl@uni-bonn.de), [www.zfl.uni-bonn.de](http://www.zfl.uni-bonn.de)

## True-Ortho-Bilder mit Laser-Scanning und multispektralem Zeilenscanner

MANFRED PFLUG, PETER RINDLE & ROLF KATZENBEISSER, Biberach

**Keywords:** true ortho image, image map, multispectral image, airborne laser scanning

**Zusammenfassung:** True-Ortho-Bilder weisen für den Einsatz in GIS-Anwendungen entscheidende Merkmale auf. Sie sind maßstabsgetreu und beinhalten keine Artefakte der Aufnahmeperspektive, wie sie von konventionellen Orthophotos bekannt sind. Durch die Kombination eines multispektralen Zeilenscanners mit einem Laserscanner – realisiert bei den TopoSys Falcon Systemen – können Bild- und Höhendaten zur Erstellung von True-Ortho-Bildern gleichzeitig erfasst werden. In diesem Artikel werden der multispektrale Zeilenscanner und alle relevanten Teile des Gesamtsystems vorgestellt. In einem gesonderten Abschnitt sind die Anforderungen an das Höhenmodell beschrieben, das zur Rektifizierung der Bilddaten verwendet wird. Weitere Punkte sind die Datenerfassung und die Schritte der Datenauswertung bis zum fertigen Produkt des mosaikierten True-Ortho-Bildes.

**Summary:** *True Ortho Images with Laser Scanning and Multispectral Line Scanner.* True ortho images offer important properties for the use in GIS applications. They are true in scale and do not contain perspective artefacts of the shoot known from conventional ortho images. Having all in one, an imaging sensor and a laser scanner like in the TopoSys Falcon systems, image and elevation data to produce true ortho images can be acquired simultaneously. In this article the multispectral line scanner and all relevant components of the complete system will be described. A separate part will mention requirements for the surface model used to rectify the image data. Further topics are data acquisition and the steps of data processing leading to the final product, the true ortho image mosaic.

---

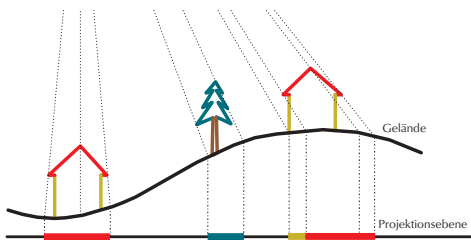
### 1 Einleitung

Die Idee, Luftbilder orthogonal zu rektifizieren, ist wohl so alt wie die Luftbildphotographie an sich. Für Anwendungen im Vermessungswesen sind flächentreue Abbildungen mit gleich bleibendem Maßstab von großem Vorteil (CALÖRTSCHER & KERSTEN 1998). Viele Techniken wurden im Laufe der Zeit entwickelt, um dieses Ziel zu erreichen. Genannt seien hier auch optische Verfahren, mit denen unterschiedliche Abbildungsmaßstäbe bei der Vervielfältigung einer Aufnahme erzielt werden können (KRAUS 1994). Doch erst mit der Verfügbarkeit ausreichend leistungsfähiger Computer und Digitalisierungsgeräte etablierte sich das Produkt Orthophoto in umfassender Weise.

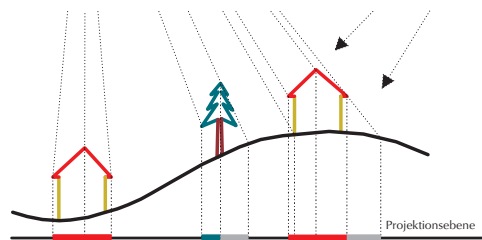
Üblicherweise sind im Orthophoto Lage und Abbildungsmaßstab über die Geländehöhe korrigiert. Die perspektivische Ansicht – erkennbar an stürzenden Senkrechten – bleibt erhalten. Um diesen Effekt zu korrigieren, wird ein flächendeckendes und hoch aufgelöstes Höhenmodell benötigt, wie es durch Laserscanning effizient erzielbar ist. Im Sinne der Definition kann damit eine wirklich orthogonale Ansicht, ein True-Ortho-Bild, berechnet werden.

### 2 Ortho-Bilder

Auch auf die Gefahr hin, hier altbekanntes zu wiederholen, sollen zum leichteren Verständnis einiger Aussagen die wesentlichen Eigenschaften von Ortho-Bildern skizziert werden.



**Abb. 1:** Lagefehler von Objekten bei Korrektur mit Geländehöhe.



**Abb. 2:** Fehlerfreie True-Ortho-Projektion bei Korrektur mit Geländehöhe und Objekthöhen.

Luftbilder weisen aufgrund der Aufnahmetechnik eine Zentralperspektive auf, die in bewegtem Gelände zu Lagefehlern sowie zur Stauchung oder Streckung führt. Ist die Geländehöhe bekannt, kann die Verzerrung korrigiert werden. Da bei dieser Projektion alle Strahlen senkrecht auf der Projektionsebene stehen, wird das entstehende Bild als Orthophoto bezeichnet. Bodenpunkte sind im Orthophoto maßstabsgetreu wiedergegeben, höhere Objekte wie Gebäude oder Bäume sind aber nach wie vor mit Lagefehlern versehen (Abb. 1). Erhalten bleiben ebenso die Schrägansicht von Gebäuden und die damit verbundenen sichttoten Räume.

Ist dagegen die Höhe der Objekte bekannt, so können auch diese entsprechend korrigiert werden (Abb. 2). Alle aus der zentralen Perspektive sichtbaren Objekte werden lagerichtig ins Bild gesetzt. Die ebenfalls vorhandenen Zonen der Abschattung

können durch Nachbarbilder geschlossen werden. Im direkten Vergleich werden die genannten Effekte deutlich erkennbar (Abb. 3 und 4).

Für mit Gelände- und Objekthöhen korrigierte Bilder hat sich der Begriff True-Ortho-Bild etabliert, der nicht überall auf Gegenliebe trifft (KRAUS 2002).

### 3 Zeilenscanner

Der multispektrale Zeilenscanner der TopoSys Falcon Systeme ähnelt in seinem Aufbau einer digitalen Kamera. Die lichtempfindlichen Sensoren sind jedoch nicht über eine Fläche verteilt, sondern in einer Zeile angeordnet. In schneller Folge werden die Sensoren belichtet, die Grauwerte digitalisiert und abgespeichert. Ein flächiges Bild entsteht durch die Bewegung des Scanners rechtwinklig zur Zeile, sprich durch die



**Abb. 3:** Konventionelles Orthophoto   
Quelle: Auszug aus Geobasisdaten ©.



**Abb. 4:** True-Ortho-Bild.

**Tab. 1:** Spektralkanäle des Zeilenscanners der TopoSys Falcon Systeme.

| Lichtfarbe     | Wellenlänge |
|----------------|-------------|
| Blau           | 440–490 nm  |
| Grün           | 500–580 nm  |
| Rot            | 580–660 nm  |
| Nahes Infrarot | 770–890 nm  |

Bewegung des Luftfahrzeugs. Durch dieses Prinzip liegt ausschließlich quer zur Flugrichtung eine Zentralperspektive vor, die bei größeren Blickwinkeln zu Abschattungen führt. In Flugrichtung ist die Ansicht quasi orthogonal. Abschattungen treten nicht auf, da die Sensoren senkrecht nach unten blicken.

Die Sensoren, bei bildgebenden Systemen auch Pixel genannt, sind mittels diskreter Filterschichten für vier verschiedene Lichtfarben sensibilisiert. Diese Farben sind Rot, Grün und Blau im Sichtbaren, sowie nahes Infrarot. In oben stehender Tabelle sind die Spektralbereiche aufgeführt (Tab. 1).

Aus den Farbwerten für Rot, Grün und Blau entsteht durch additive Farbmischung

ein Bild in Quasi-Echtfarben (Abb. 5). Mancher wird die Einschränkungen in Bezug auf die Menge der erfassbaren Farben in Relation zur Menge aller möglichen Farben kennen. Der Farbraum ist jedoch bei den eingesetzten modernen Sensoren genügend groß und ausgewogen. Der vierte Spektralkanal im nahen Infrarot ermöglicht das Erstellen von Color-Infrared-Bildern (CIR), auf denen sich grüne Vegetation intensiv rot abbildet (Abb. 6).

Einen maßgeblichen Anteil an der Qualität der Bilddaten, sowohl in punkto Farbtreue als auch in der Geometrie der Abbildung, hat das verwendete Objektiv. Hier kommt eine sehr hochwertige Festbrennweite zum Einsatz. Brennweite und damit Abbildungsmaßstab und Blickwinkel sind so gewählt, dass sich gegenüber dem Laserscanner eine 2-fach größere Rasterauflösung und ein 1,5-fach größerer Blickwinkel ergibt. Der größere Blickwinkel und die damit verbundene große Überlappung zweier Flugstreifen hat nicht nur den Vorteil der höheren Datendichte, er minimiert auch das Auftreten von Schattenbereichen ohne Bildinformation. Dennoch ist der Blickwinkel mit  $21^\circ$  deutlich kleiner als bei herkömmlichen Luftbildkameras, was sich in Bezug auf Abschattungen grundsätzlich positiv auswirkt.



**Abb. 5:** RGB True-Ortho-Bild mit überlagerten Gebäudevektoren.



**Abb. 6:** CIR True-Ortho-Bild mit überlagerten Gebäudevektoren.

Die Datendichte wird zusätzlich durch Fluggeschwindigkeit und Belichtungszeit beeinflusst. Das lichtstarke Objektiv ermöglicht sehr kurze Belichtungszeiten, typischerweise zwischen einer und fünf Millisekunden. Selbst unter ungünstigen Beleuchtungsbedingungen tritt deshalb keine sichtbare Bewegungsunschärfe auf. Dies trifft auch für den kürzlich eingeführten Swing-Modus bei den TopoSys Falcon Systemen zu. Hierbei werden die Messgeräte zur Verbesserung der Punktverteilung in eine leichte Schwingung um die Längsachse des Flugzeugs versetzt.

Die Wandlung der Helligkeitsinformation der Sensoren in digitale Grauwerte geschieht mit einer Auflösung von 8 Bit. Die Sensoren werden durch eine schnelle Regelung der Belichtungszeit immer optimal angesteuert. Hierbei ändert sich die Belichtungszeit unter üblichen Bedingungen für Motiv und Beleuchtung etwa um einen Faktor vier, was zwei weiteren Bit an Helligkeitsinformation entspricht. Die sich hieraus ergebenden 10 Bit, also etwa 1000 Helligkeitsstufen für jede Farbe, stellen die maximale Farbtiefe der Ergebnisbilder dar. Nur bei sehr großer Motividynamik reicht diese Auflösung nicht vollständig aus, und es geht Zeichnung in Lichtern und Schatten verloren. Extrem hohe Kontraste, z. B. wenn die Windschutzscheibe eines Autos das Sonnenlicht direkt in die Kamera reflektiert, führen zum Überstrahlen von Pixeln.

#### 4 Oberflächenmodell

Um ein True-Ortho-Bild zu berechnen, wird ein Oberflächenmodell mit vergleichbarer Rasterauflösung benötigt. Nur so ist gewährleistet, dass alle Objekte lagerichtig ins True-Ortho-Bild gesetzt werden. Erfolgt die Erfassung der Bilddaten gleichzeitig mit den Höhendaten, werden selbst sich bewegende Objekte orthogonal richtig korrigiert. Ein Auto befindet sich an der gleichen Stelle im Bild wie auch im Höhenmodell. Liegt ein Höhenmodell älteren Datums vor, ist es sehr wahrscheinlich, dass sich mittlerweile Veränderungen ergeben haben. Im städtischen Bereich wurden zwischenzeitlich Gebäude

errichtet, verändert oder abgerissen. Ähnlich verhält es sich, wenn ein True-Ortho-Bild zur Erstellung eines Baumkatasters verwendet werden soll.

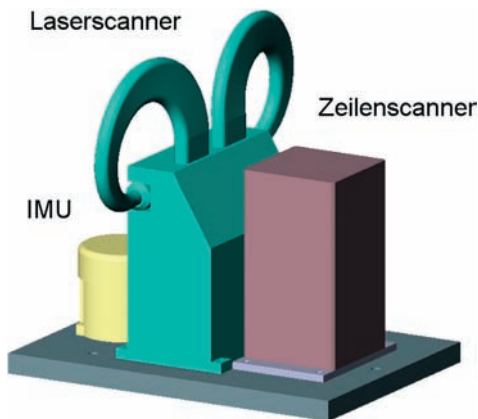
Ein prinzipielles Problem tritt dann auf, wenn die Laserentfernungsmessung in der Tiefe gestaffelte, mehrfache Echos liefert. Bild- und Höheninformation sind dann unter Umständen nicht eindeutig zuzuordnen. Hochspannungsleitungen oder kahle Bäume im Winter tragen kaum zur Bildinformation bei, das Pixel des Zeilenscanners enthält den Farbwert des Bodens. Bei den Höhen-daten wird aber vorzugsweise der höchste Messwert als relevanter Wert für die Oberfläche interpretiert. Durch angepasste Filterung des Höhenmodells können solche Effekte verringert werden, Grenzfälle werden aber immer existieren (LÖFFLER 2003).

#### 5 Orientierung und Kalibrierung

Im Gegensatz zur Luftbildphotogrammetrie, bei der nur der Auslösezeitpunkt relevant ist, muss bei einem Zeilenscanner die exakte Lage und Orientierung des Gerätes zu jeder Zeit bekannt sein. Nur so lässt sich in der anschließenden Prozessierung ein Bild berechnen. Da es nicht möglich ist, nachträglich durch Aerotriangulation die Aufnahmeparameter jeder einzelnen Scanzeile zu bestimmen, müssen diese bereits bei der Datenaufnahme sehr exakt erfasst werden. Hierfür wird ein Positionierungs- und Orientierungssystem verwendet, welches diese Größen mittels DGPS und Kreiselsystem (IMU) sehr präzise misst. Dieses Verfahren wird häufig als direkte Georeferenzierung bezeichnet (CRAMER 2003).

Um Orientierungsfehler bedingt durch Temperaturendeckung, Vibrationen o. ä. auszuschließen, ist eine sehr starre mechanische Verbindung und ein geringer räumlicher Abstand zwischen IMU, Laserscanner und Zeilenscanner notwendig (Abb. 7). Durch die Montage aller Geräte auf einer sehr biegesteifen Kohlefaser-Aufbauplatte, sind diese Anforderungen konstruktiv umgesetzt. Eine Kalibrierung der relativen Winkel der Geräte zueinander ist nur einmal nach der Integration notwendig.





**Abb. 7:** Kreiselsystem (IMU), Laserscanner und Zeilenscanner auf Kohlefaser-Aufbauplatte.

## 6 Datenaufnahme und Verarbeitung

Die Datenaufnahme erfolgt innerhalb einer Befliegung synchron mit den Laserentfernungsmessungen. Hierfür wird das Gebiet in der Planungsphase in parallel liegende Flugstreifen aufgeteilt. Der Abstand der Flugstreifen ist von der Flughöhe und diese von der gewünschten Bildauflösung abhängig. Im Flug erhält der Operateur auf der Bedieneinheit klare Informationen über den Zustand der Messsysteme und die Qualität der Daten.

Erster Schritt der Datenauswertung ist die Rekonstruktion des Flugpfads. Danach werden aus den Laserentfernungsdaten die gewünschten Produktvarianten der Höhenmodelle erzeugt. Das hierbei entstehende Oberflächenmodell, eventuell durch spezielle Filterungen angepasst, wird später zur Rektifizierung der Bilddaten verwendet.

In die rohen Bilddaten des Zeilenscanners wird im ersten Verarbeitungsschritt die Helligkeitsinformation aus der Belichtungszeit eingerechnet. In weiteren Schritten folgen ein Weißabgleich und eine Korrektur entsprechend der Empfindlichkeit jedes einzelnen Pixels.

Für jeden Flugstreifen erfolgt jetzt die Berechnung der orthogonalen Ansicht. Hierfür wird die Flugsituation im Computer quasi künstlich nachgestellt, indem der Zei-

lenscanner entsprechend den Positions- und Orientierungsdaten über das Höhenmodell bewegt wird. Im Zeitpunkt der Belichtung einer Zeile wird die Farbinformation gemäß der optischen Geometrie auf das Höhenmodell projiziert.

Um das True-Ortho-Bild eines kompletten Gebiets zu erhalten, müssen die einzelnen Bildstreifen zusammengefügt werden. Die langen und relativ schmalen Einzelstreifen besitzen im Vergleich zu Luftbildern erheblich andere Eigenschaften. So können sich selbst benachbarte Bildstreifen schon aufgrund des Motivwechsels in ihrer Farbverteilung stark voneinander unterscheiden, weshalb eine einfache statistische Anpassung der Histogramme nicht ausreicht. Zusätzlich ändern sich die Beleuchtungsbedingungen im Zeitraum der Befliegung. Da Laserscanner im Vergleich zu Luftbildkameras bei entsprechender Auflösung momentan noch geringere Flächenleistungen aufweisen, kann ein Gebiet von mehreren hundert Quadratkilometern nicht unter einheitlichen äußeren Bedingungen befliegen werden. Deshalb sind Anpassungen der Farbtemperatur und des Bildkontrastes notwendig. Um diesen Effekten Rechnung zu tragen, wurde eine spezielle Mosaiking-Software entwickelt, welche die Einzelstreifen zu einem möglichst ausgewogenen Gesamtbild zusammenfügt. Die Software arbeitet sehr zufriedenstellend, Probleme bereiten hin und wieder die scharfen Schatten kleiner Wolken, die in jedem Bildstreifen an einer anderen Stelle liegen.

## 7 True-Ortho-Bilder im Ergebnis

Die True-Ortho-Bilder liegen generell als Rasterdaten vor. Die Rasterweite liegt in Abhängigkeit der Flughöhe zwischen 1,0 und 0,25 Meter – die Lagegenauigkeit kann entsprechend mit einem Rasterelement angegeben werden. Im Ausdruck als Bildkarte ergeben sich Maßstäbe bis zu 1: 2.500.

Auf die rektifizierten Einzelstreifen wurden außer dem Weißabgleich keine die gemessenen Farbwerte manipulierenden Berechnungen angewandt. Wer Wert legt auf möglichst unverfälschte Messdaten, z. B. für

Klassifizierungen oder spektrale Auswertungen, ist mit den Einzelstreifen am besten bedient. Dem gegenüber steht aber die sehr große Datenmenge und redundante Information.

Wesentliches Produkt ist das mosaikierte Gesamtbild. Herrschten während der Befliegung nicht stark wechselnde Beleuchtungsbedingungen, ist hier mit sehr guten Ergebnissen zu rechnen. Das Gesamtbild weist ausgewogene Farben und Kontraste auf.

Mit der Erfassung der Höhendaten sind häufig sehr spezifische Bedingungen verbunden wie laubfreie Bäume, niedrige Wasserstände an Flüssen oder Schneefreiheit. Entsprechend können nicht in jedem Fall auch optimale Beleuchtungsbedingungen vorherrschen. Ein bedeckter Himmel hat jedoch auch durchaus Vorteile. Die Bilder wirken zwar vergleichsweise kontrastarm, weisen aber keine harten Schlagschatten auf.

Unabhängig davon sind die Bildinhalte der True-Ortho-Bilder bei visueller Betrachtung eindeutig erkennbar. Somit erschließen sich diesem Produkt viele Anwendungsfelder der modernen Geoinformatik. Mit geeigneter GIS-Software ist es sehr einfach möglich, dem True-Ortho-Bild ein Höhenmodell zu hinterlegen. Die Höhe eines Gebäudes kann dadurch direkt abgegriffen werden. Zusätzlich erleichtert eine bildhafte Ansicht die Interpretation der Höhenmodelle erheblich. Selbstverständlich kann auch jeder andere georeferenzierte Datensatz, wie Vektorzüge, Höhenlinien oder Katasterdaten, dem True-Ortho-Bild überlagert werden.

## 8 Schlussbemerkung und Ausblick

In einer Befliegung werden mit der oben beschriebenen Methode gleichzeitig Höhenmodelle des Bodens (DGM), der Oberfläche (DOM) und True-Ortho-Bilder als RGB und CIR in Maßstäben von 1:10.000 bis 1:2.500 erfasst. Dabei ist das Verfahren schnell, kostengünstig und daher hervorragend geeignet, alle herkömmlichen Verfah-

ren abzulösen. Abschattungen von Straßen wie in konventionellen Orthophotos treten nicht auf.

Mit der kontinuierlichen Weiterentwicklung der vorgestellten Technik werden sich so erfasste True-Ortho-Bilder auch in den Fällen durchsetzen, in denen eine Bildauflösung und Lagegenauigkeit von besser als 0,2 Meter gefordert ist, wie die nächste Generation des TopoSys Scannersystems zeigen wird.

## Literatur

- CALÖRTSCHER, M. & KERSTEN, TH., 1998: Hochauflösende digitale Orthophotos in der Planungs- und Ingenieurpraxis – Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, **1998** (9): 470–477.
- CRAMER, M., 2003: Erfahrungen mit der direkten Georeferenzierung. – Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation **2003** (4): 267–278.
- KRAUS, K., 1994: Photogrammetrie Bd.1 – Dümmler Verlag Bonn, **1994**, Kapitel 6.
- KRAUS, K., 2002: Zur Orthophoto-Terminologie. – Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation **2002**, Heft 6, pp. 451–452.
- LÖFFLER, G., 2003: Aspects of Raster DEM Data Derived from Laser Measurements. – ISPRS Workshop: „3-D Reconstruction from Airborne Laserscanner and InSAR Data“, Dresden, Germany 2003.

Anschrift der Autoren:

Dipl.-Ing.(FH) MANFRED PFLUG,  
m.pflug@toposys.com

Dipl.-Ing.(FH) PETER RINDLE,  
p.rindle@toposys.com

Dr.-Ing. ROLF KATZENBEISSER,  
r.katzenbeisser@toposys.com

TopoSys GmbH  
Obere Stegwiesen 26, D-88400 Biberach  
www.toposys.com

Manuskript eingereicht: Dezember 2003  
Angenommen: März 2004

## Airborne Laser-Scanning, ein Vergleich mit terrestrischer Vermessung und Photogrammetrie

ROLF KATZENBEISSER & SVEN KURZ, Biberach

**Keywords:** airborne laser-scanning, LIDAR, tachymetry, photogrammetry, point accuracy, object accuracy, scan pattern, multiple echo

**Zusammenfassung:** Die Erfassung von topographischen Daten kann mit terrestrischer Vermessung (Tachymetrie), Photogrammetrie oder Laser-Scanning erfolgen. In diesem Beitrag werden die konventionellen Verfahren kurz skizziert und das Messverfahren des Airborne Laser-Scanning erläutert. Dabei wird auf die flächendeckende Erfassung der Topographie abgehoben und nicht auf die Vermessung herausragender Punkte oder Strukturen. Zum Schluss wird ein Vergleich der drei Verfahren mit ausgewählten Vor- und Nachteilen aufgeführt.

**Summary:** *Airborne Laser-scanning – a comparison with terrestrial surveying and photogrammetry.* The acquisition of topographical data can be done by terrestrial surveying (tachymetry), photogrammetry or airborne laser-scanning. This paper outlines the two conventional methods and describes the measurement scheme of laser-scanning. Importance is attached to a complete coverage of the topography instead of pinpointing prominent elements or structures.

A comparison of the three methods outlining their advantages and disadvantages for specific applications completes the paper.

---

### 1 Einleitung

In den letzten Jahren wird Laser-Scanning immer häufiger für die Erfassung digitaler Geländemodelle eingesetzt. Dennoch entsteht immer wieder der Eindruck, dass die Besonderheiten dieses Messverfahrens nicht bekannt oder zumindest nicht bewusst sind.

Missverständnisse entstehen immer wieder bei den Begriffen wie Genauigkeit, DGM, DSM, DOM. Gesucht wird ein Höhenmodell, das die gesamte Topographie möglichst präzise repräsentiert, gefordert wird allerdings oft die Genauigkeit von Einzelpunkten.

Im Folgenden wird daher versucht, die Eigenschaften unterschiedlicher Verfahren darzustellen und diesen die Leistungsfähigkeit des Laser-Scanning gegenüber zu stellen. Die konventionellen Verfahren werden nur skizziert, da sie als bekannt vorausgesetzt werden können.

### 2 Terrestrische Vermessung

Die terrestrische Vermessung kann im Gegensatz zum Laser-Scanning Verfahren einzelne Punkte mit einer sehr hohen Genauigkeit bestimmen (mm-Genauigkeiten möglich). Unterstützt wird dies bei modernen elektronischen Vermessungsinstrumenten dadurch, dass mehrere Messungen zu einer Messung mit einem sehr großen Vertrauensbereich zusammengefasst werden.

In der Regel werden bei solchen punktuellen Messverfahren die Punkte aufgenommen, die vom Vermesser individuell als wesentlich erachtet werden. In der Regel werden dabei signifikante Einzelpunkte oder Kanten erfasst (KAHMEN 1993). Im Wesentlichen werden dabei Bodenpunkte erfasst, Bäume werden zum Teil nur durch eine punktuelle Messung bestimmt (eventuell mit einem Attribut: Baumkronendurchmesser).

Die einzelnen Messungen sind im Allgemeinen auch jederzeit reproduzierbar und somit auch später noch kontrollierbar. Die mit einem solchen Verfahren hochgenau bestimmten Punkte lassen aber zum Teil nur sehr eingeschränkt eine flächenhafte Aussage über die nicht erfassten Bereiche zwischen den Punkten zu, die der Genauigkeit der aufgenommenen Einzelpunkte entspricht. Da aber schon bei der Aufnahme auf topographisch relevante Punkte Rücksicht genommen wird, lassen sich in der Regel Zwischenpunkte in erster Näherung linear interpolieren.

Eine größere, dichte und flächenhafte Punkterfassung (mehrere ha) ist damit aber aus wirtschaftlicher Sicht nicht sinnvoll. Im Katasterbereich wird die terrestrische Vermessung weiterhin ihren Stellenwert beibehalten, da hier das Verfahren des Laser-Scanning nicht geeignet ist. Die hochgenaue Erfassung von Gebäuden mittels Laser-Scanning könnte in diesem Bereich nur eine unterstützende Rolle übernehmen.

### 3 Photogrammetrie

Die Photogrammetrie eignet sich im Vergleich zur terrestrischen Vermessung besser, wenn es darum geht, flächenhaft topographische Punkte zeitlich effizient und wirtschaftlich zu erfassen.

Bei der photogrammetrischen Vermessung ist die Genauigkeit in erster Linie von der Flughöhe und von der Brennweite der Kamera abhängig (KRAUS 1994, KKVA 2000). Eine Verwendung von kleineren Brennweiten verbessert die erreichbare Höhengenaugkeit. Während der digitalen Auswertung spielt die Auflösung, mit der das Luftbild gescannt wird, eine wichtige Rolle (digitale Kameras: Auflösung bei der Aufnahme).

Für den Normalfall der photogrammetrischen Zweibildauswertung gilt für die erreichbare Höhengenaugkeit (KRAUS 1994):

$$\sigma_z = m_b^* Z/B * \sigma_{p\%}$$

$m_b$  Bildmaßstabszahl

$Z$  Flughöhe über Grund

$B$  Aufnahmebasis

$\sigma_{p\%}$  Parallaxenmessgenauigkeit

Bei allen Betrachtungen ist es wichtig, dass man bei der photogrammetrischen Punktbestimmung zwischen signalisierten Punkten und „natürlichen Geländepunkten“ unterscheidet. Üblich erreichbare Genauigkeiten für signalisierte Punkte bei einer Bündelblockausgleichung sind (KRAUS 1994):

$$\text{Lage: } \sigma_{xy(\text{sig})} = \pm m_b * 3 \mu\text{m}$$

$$\text{Höhe: } \sigma_{z(\text{sig})} = \pm m_b * (0.03\% - 0.04\%) * c$$

$c$ : Kammerkonstante

Bei einem Bildmaßstab von 1:5000 und einer Kammerkonstanten von 15,3 cm kann man zu folgenden Werten gelangen:

$$\sigma_{xy(\text{sig})} \approx \pm 1,5 \text{ cm}$$

$$\sigma_{z(\text{sig})} \approx \pm 3 \text{ cm}$$

Bei natürlichen Geländepunkten kommt zusätzlich eine Definitionsunsicherheit hinzu.

$$\text{Lage: } \sigma_{xy(\text{max})} = \sqrt{\sigma_{xy(\text{sig})}^2 + \sigma_{xy(\text{def})}^2}$$

$$\text{Höhe: } \sigma_{z(\text{max})} = \sqrt{\sigma_{z(\text{sig})}^2 + \sigma_{z(\text{def})}^2}$$

Näherungswerte für die Definitionsunsicherheit bei natürlichen Geländepunkten kann man (KRAUS 1994) entnehmen:

|                     | Lage[cm]<br>$\sigma_{xy(\text{def})}$ | Höhe [cm]<br>$\sigma_{z(\text{def})}$ |
|---------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Haus- und Zaunecken | 7– 12                                 | 8– 15                                 |
| Kanaldeckel         | 4– 6                                  | 1– 3                                  |
| Feldecken           | 20–100                                | 10– 20                                |
| Sträucher, Bäume    | 20–100                                | 20–100                                |

Es lassen sich auch bei diesem Verfahren sehr gute Genauigkeiten erzielen, wenn man entsprechend gute kontrastreiche Strukturen der Topographie in den Luftbildern als Voraussetzung annimmt.

Die obigen Angaben beziehen sich aber immer auf Eckpunkte, die einen entsprechenden Kontrast zum Umfeld voraussetzen (texturiertes Gelände). Diese Bedingung ist aber bei einer homogenen dichten und flächenhaften (rasterförmigen) Geländeerfassung nicht überall gegeben und somit nicht immer einzuhalten. Die photogrammetrische Auswertung basiert auf einem

passiven Messverfahren, d. h. Messungen in schattigen Bereichen stehen im direkten Zusammenhang mit ihrer erreichbaren Genauigkeit.

Je nach Messpunktdichte bei der Auswertung lassen sich auch genauere flächenhafte Aussagen über das Gelände ableiten. Eine homogene Flächenabdeckung erreicht man zum Beispiel mit der Software SCOP. Diese Software interpoliert zwischen gemessenen Punkten, um einen homogenen Übergang zwischen den einzelnen Flächenelementen zu schaffen – Ausnahme bilden Bruchkanten, wenn diese als solche deklariert wurden.

Ein automatisches Verfahren zur photogrammetrischen Massenpunkterfassung ist zum Beispiel der Ansatz einer automatischen Flächenkorrelation in digitalen Bildern. Dabei wird der Ansatz der kleinsten Quadrate zugrunde gelegt (LSM – Least Squares Matching). Dieses Verfahren eignet sich aber nur in gut texturiertem und offenem Gelände, ohne Wald und Gebäude (KRAUS 2000).

Wie bereits erwähnt, sind die bei diesem Verfahren erreichbaren Genauigkeiten sehr stark abhängig von der Struktur und dem Kontrast der Oberfläche in den Luftbildern. Selten gelten für alle Messungen innerhalb eines Bereiches die Genauigkeiten des „Best Case“, der unter Umständen für eine Auswertung angegeben wird. Die Ergebnisse eines solchen „Best Case“ dürfen nicht für eine Genauigkeitsangabe bei einer abgeleiteten flächenhaften Aussage für das gesamte Modell zugrunde gelegt werden. Schwierig oder teilweise sogar unmöglich wird es, in Bereichen von Watt, Sandstränden oder Wiesen eine hohe und gleich bleibend konstante Genauigkeit für jede einzelne Messung zu garantieren.

## 4 Laser-Scanning

### 4.1 Prinzip

Von einem Sensor im Flugzeug wird mit einem gepulsten Laser die Entfernung zum Boden, oder besser zu einem reflektierenden Objekt, bestimmt (Abb. 1). Sind Strahlrichtung und Position des Sensors bekannt,

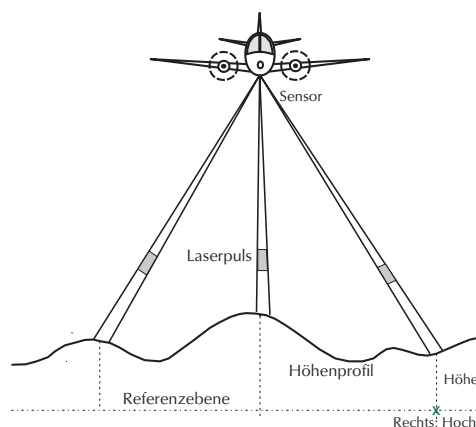


Abb. 1: Messprinzip.

können die Koordinaten des reflektierenden Objekts berechnet werden.

Die Strahlrichtung wird durch eine entsprechende Einrichtung von Puls zu Puls geändert und von der Bewegung des Flugzeugs beeinflusst. Durch die seitliche Ablenkung des Laserstrahls und die Bewegung des Flugzeugs wird ein Geländestreifen unterhalb des Flugzeugs erfasst. Mit einer Reihe benachbarter Streifen werden große Gebiete flächendeckend gemessen.

Die augenblickliche Position des Sensors ist vorwiegend durch die kontinuierliche Vorwärtsbewegung des Flugzeugs bestimmt, aber auch von Böen und Thermik oder „Luftlöchern“ beeinflusst. In diesem Artikel soll auf die Messfehler bei Entfernung, Position und Richtung nicht weiter eingegangen werden. Zum einen können diese Fehler durch geeignete Befliegungsparameter (sehr gute GPS) und adäquate Sensorkonstruktion kompensiert werden, und zum anderen sind ihre Ursachen und Auswirkungen in einer Reihe von Veröffentlichungen dargestellt (SCHENK 2001a, SCHENK 2001b, KATZENBEISSER 2003a).

### 4.2 Flächendeckung

In einem Flugstreifen wird die gesamte Fläche erfasst. Die Verteilung der Messpunkte und deren Abstand hängen wesentlich vom verwendeten Scanner-System, der Flughöhe und dem Scanwinkel ab. Generell muss zwi-

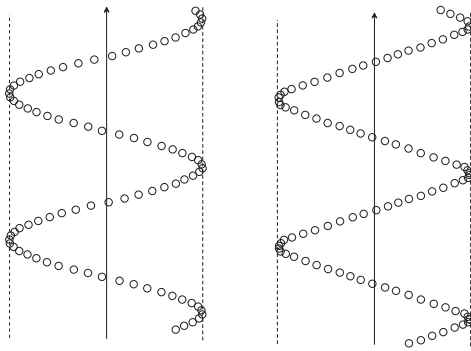


Abb. 2: Schwingenspiegel-Muster.

schen vier verschiedenen Scanmustern unterschieden werden (Abb. 2 und 3).

Bei einem Schwingenspiegel wird der Strahl zwischen zwei extremen Positionen abgelenkt. Je nach Art der Ansteuerung entsteht dabei ein Sinus oder ein Sägezahn. Beim Sinus ist der Punktabstand entlang der Scanlinie in der Mitte sehr groß und am Rand sehr klein. Daten aus dem Randbereich sind wegen Winkelfehlern nicht brauchbar. Beim Sägezahn ist der Punktabstand entlang der Scanlinie weitgehend konstant, nur im äußersten Randbereich treten engere Abstände auf. Der Abstand entlang der Flugrichtung hängt von der Scan-Frequenz und der Fluggeschwindigkeit ab und kann in weiten Grenzen verändert werden.

Von einem rotierenden Polygonspiegel wird der Laserstrahl linear von einer Seite des Streifens zur anderen Seite abgelenkt. An den Ecken des Polygons können keine Messwerte erfasst werden. Die Größe dieser Bereiche variiert mit der Detail-Konstruktion.

Beim Faserscanner wird der Laserstrahl durch die Orientierung der einzelnen Faser

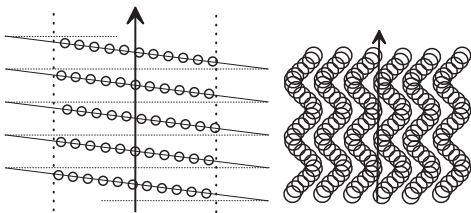


Abb. 3: Polygon- und Faserscanner.

ausgerichtet. Der Messabstand ist entsprechend der Faseranordnung konstant. Die Laserpulsrate wird vollständig zur Messung verwendet. Abb. 3 zeigt rechts das resultierende Scanmuster überlagert mit einer sehr leichten Schwingung, zur Füllung der sonst zwischen den Fasern entstehenden Messlücken.

#### 4.3 Zuverlässigkeit

Bei der Entfernungsmessung mit einem EDM stellt man üblicherweise die Forderung einer Mehrfachmessung. Dabei orientiert sich die Messdauer oder die Anzahl der Messungen an der „Qualität“ des Reflektors. Je weniger bekannt das reflektierende Objekt ist (Reflektor, Hauswand, Baumstamm, etc.), umso länger muss die Messdauer sein.

Aus der kontinuierlichen Bewegung des Flugzeugs und der sich ändernden Strahlableitung folgt, dass jede Entfernungsmessung einmalig ist. Sie kann nicht durch Mehrfachmessungen verifiziert oder verbessert werden. Die Zuverlässigkeit einer einzelnen Messung mit einem scannenden Laser liegt also erheblich unter der einer Messung mit einem EDM. Die Zuverlässigkeit eines Höhenmodells muss daher mit anderen Mitteln erreicht werden. Wie beim EDM muss ein Ensemble gefunden werden, das zuverlässige Aussagen zulässt. Dies kann durch sehr dichte Messungen erfolgen, bei denen davon ausgegangen werden kann, dass sich im direkten Umfeld kaum Höhenänderungen ergeben haben. Die Wahl des Ensembles muss dynamisch erfolgen und sich an die jeweiligen Gegebenheiten anpassen.

Eine andere Möglichkeit wird von TopoSys genutzt. In Flugrichtung überlappen die vom Laserstrahl ausgeleuchteten Flächen wegen der hohen Scan-Rate sehr stark (Abb. 3). Selbst bei dynamischem Gelände können zwischen zwei aufeinander folgenden Messungen keine wesentlich anderen Ergebnisse auftreten, sofern keine abrupten Höhenänderungen (Strasse – Dachkante) vorliegen. Mit einer geeigneten Plausibilitätsprüfung benachbarter Messungen

wird daher eine höhere Zuverlässigkeit der Messungen erreicht.

#### 4.4 Genauigkeit

Häufig wird eine Angabe zur Lagegenauigkeit für Einzelmessungen gefordert. Gemeint wird damit meist die Genauigkeit der Lage- und Richtungsbestimmung des Sensors. Dabei wird übersehen, dass ein Laserstrahl nicht unendlich dünn ist und dass er sich mit der Entfernung aufweitet (Strahldivergenz).

Allgemein wird angenommen, dass die Energieverteilung im Laserstrahl einer Gaußverteilung folgt (Abb. 4, schematisch, normiert). Für den Strahldurchmesser sind zwei Angaben üblich. In der Optik wird mit  $\varphi = 1/e^2$  gearbeitet, während der ISO-Standard zur Lasersicherheit von  $\varphi = 1/e$  ausgeht. Der Radius wird damit zu bzw.  $r = \sqrt{2}\sigma$ .

Die Lage eines reflektierenden Objekts wird immer der Strahlmitte zugeordnet. Ein Objekt im Laserstrahl reflektiert soviel Energie, wie seiner Lage im Strahl entspricht. Ein Objekt mit hoher Reflektivität kann also auch außerhalb des nominellen Strahldurchmessers ein Echo liefern, während ein Objekt mit niedriger Reflektivität nur im Innenbereich detektiert werden kann. Daraus folgt, dass die Lage von Objekten mit niedriger Reflektivität genauer erfasst wird als von solchen mit hoher Reflektivität.

Allerdings bewirkt eine niedrige Reflektivität auch eine geringere Signalstärke des Echos, mit der Folge, dass bei vielen Sensoren die Messgenauigkeit abnimmt oder das Messrauschen erheblich ansteigt (KATZENBEISSER 2003b).

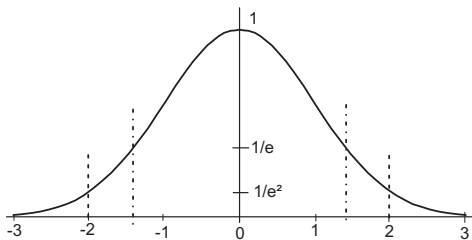


Abb. 4: Strahldurchmesser.

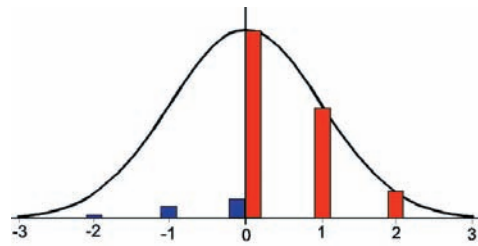


Abb. 5: Echostärke.

Abb. 5 zeigt in einer normierten Darstellung die Signalstärke eines Echos von gleich großen Flächen. Die rechts in rot dargestellten Echos werden mit der Entfernung von der Strahlmitte schwächer. Gleiches gilt für die links in blau dargestellten Echos, bei denen die reflektierenden Flächen aber nur  $1/10$  der Reflektivität der roten Flächen haben.

#### 4.5 Objektgenauigkeit

Wie gut oder genau beschreiben die Vielzahl der Einzelmessungen ein Gelände oder Objekte? Die Einzelmessungen sind mehr oder weniger zufällig über einen Streifen verteilt. In einem homogenen Gelände spielt der Messabstand oder die Verteilung der Messungen eine untergeordnete Rolle. Sollen aber Objekte wie Gräben, Dämme, Dachkanten erfasst werden, dann müssen an Verteilung und Messabstand entsprechende Forderungen gestellt werden.

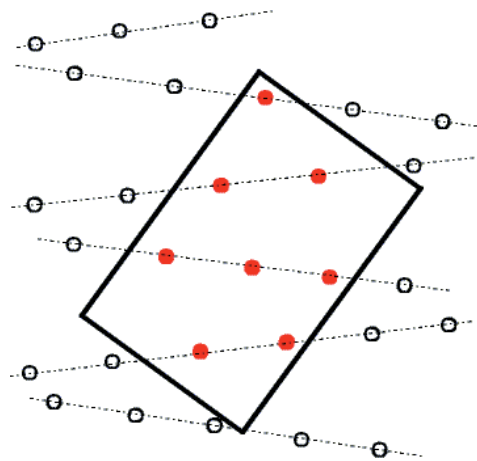


Abb. 6: Messpunktverteilung über Gebäude.

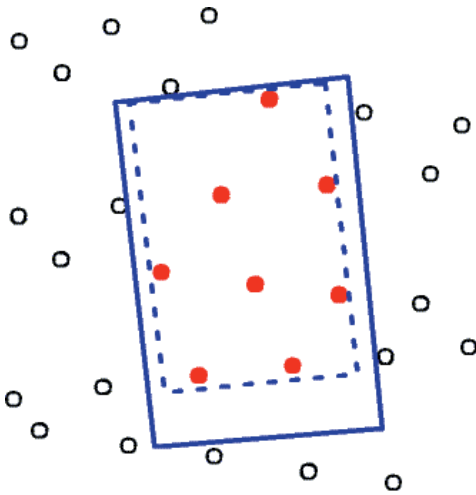


Abb. 7: Vermutetes Gebäude.

Abb. 6 zeigt ein Gebäude und die darüber zufällig verteilten Messwerte, wie sie bei der häufig geforderten Messdichte von 1 Punkt je  $4\text{ m}^2$  zu erwarten sind. Die offenen Kreise stellen Bodenhöhen und die roten Kreise Dachhöhen dar. Auf der Basis dieser acht höher liegenden Messwerte kann man viel interpretieren. Eine Möglichkeit zeigt Abb. 7.

Wenn man unterstellt, dass die Grundform ein Rechteck sein muss, können Gebäude in fast beliebiger Orientierung eingefügt werden. Hier sind zwei Möglichkeiten von Rechtecken dargestellt; ein kleines orientiert an den Dachhöhen und ein großes orientiert an den Bodenhöhen (Abb. 7).

Hier sei auf eine alte Regel der Luftbildauswerter verwiesen. Auch wenn man vor 70 Jahren noch nicht von Pixel sprach, gilt für die mindestens benötigte Objektgröße im Bild:

- entdecken 3– 5 Pixel
- erkennen 20– 40 Pixel
- beschreiben 100–200 Pixel.

Dabei bedeuten:

- entdecken: da ist etwas
- erkennen: grobe Unterscheidung von Baum, Fahrzeug, Zelt
- beschreiben: klassifizieren in PKW, LKW etc.

Ein ähnliches Problem liegt auch für Geländestructuren vor. Abb. 8 zeigt das prinzipielle Problem vereinfacht in einer nur zweidimensionalen Betrachtung.

Die schwarze Linie zeigt ein 25,0 m langes Geländeprofil mit einem 2,5 m breiten Damm, einem Bachlauf und einer Stützmauer. Tastet man das Profil mit einer Schrittweite von 2,0 m ab, entsteht das lila Profil, bei 1,0 m Weite das blaue und bei 0,5 m Weite das rote Profil. Das lila Profil lässt weder den Damm noch die Stützmauer erkennen. Im blauen Profil ist zumindest der Damm erkennbar, für die Stützmauer braucht man schon Ortskenntnisse. Dagegen gibt das rote Profil das Gelände mit allen Objekten sehr gut wieder. Dünnt man das rote Profil aus, dann erhält man das grüne Profil mit wesentlich weniger Punkten, das aber das Gelände besser beschreibt.

Auch hier gilt eine sehr alte Regel: Wird ein Signal mit äquidistanten Schritten abgetastet, dann darf die Schrittweite höchstens halb so groß sein, wie die kleinste Form, die man noch erkennen will. In der Elektrotechnik ist diese Forderung als Shannon-Theorem bekannt und wird seit mehr als 50 Jahren benutzt. Im Beispiel der Abb. 8 bedeutet das folgendes: Will man die 1,0 m breite Stützmauer erkennen, dann darf die Abtastweite nicht größer sein als 0,5 m. Was hier verein-

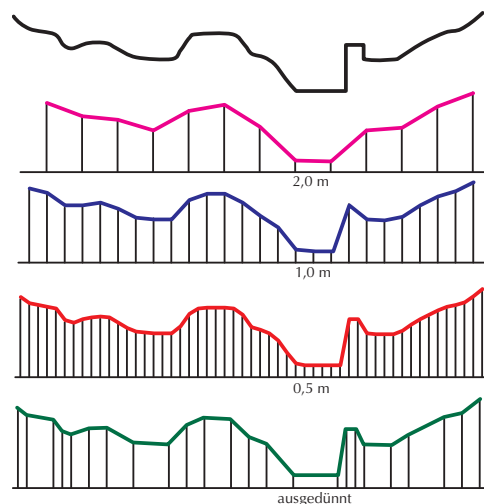


Abb. 8: Profile und Messweite.



facht dargelegt wurde, gilt im Dreidimensionalen äquivalent. Wird der Messabstand zu groß, dann gehen detaillierte Strukturen verloren.

#### 4.6 Mehrfach-Echos

Jede reflektierende Oberfläche, die vom Laser getroffen wird, reflektiert einen Teil und verursacht damit ein vielleicht detektierbares Echo.

Abb. 9 zeigt das generelle Prinzip für eine Lasermessung. Beim Haus entstehen zwei Echos, eines vom Dach und ein zweites vom benachbarten Boden. Bei der Fichte sind 4 Echos von den Ästen und ein Echo vom Boden dargestellt.

In der Praxis sind die fünf Echos bei der Fichte meist nicht vorhanden. Damit man getrennte Echos detektieren kann, müssen reflektierende Flächen einen Mindestabstand haben, der vom jeweils benutzten Sensor abhängt und gegenwärtig zwischen 0,8 m und 6,0 m liegt. Ist der untere Ast nur 2,5 m über dem Boden, dann stammt das letzte Echo bei fast allen Sensoren vom Ast und nicht vom Boden. Beim TopoSys Sensor beträgt der Mindestabstand knapp 1,0 m. In den weit überwiegenden Fällen ist es ausreichend, das erste und das letzte Echo zu vermessen und auszuwerten (KATZENBEISSER 2003-2).

Vielfach werden hier die englischen Begriffe First Echo (FE) und Last Echo (LE) verwendet. Aus FE Daten wird überwiegend ein Oberflächenmodell erzeugt, während die LE Daten die Basis für ein Bodenmodell liefern. Neben diesen beiden Modellen lässt

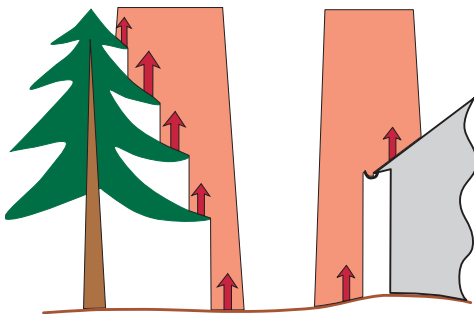


Abb. 9: Mehrfach-Echos.

sich noch eine Reihe anderer, sehr anwendungsspezifischer Modelle erzeugen (LÖFFLER 2003). Beispielsweise ist ein Baum ohne Laub in den FE Daten vermessbar, dagegen verschwindet er in den LE fast vollständig, ebenso wie im optischen Bild.

#### 4.7 Intensität

In den vergangenen zwei Jahren wird der Wunsch nach Intensitätsbildern immer häufiger geäußert. Dahinter besteht die Vorstellung, dass man aus der Stärke des Echosignals weitere Informationen ableiten kann.

In der Fernerkundung mit passiven Sensoren werden aus der Intensität einer abgebildeten Fläche in mehreren Spektralbereichen Rückschlüsse auf die Eigenschaft oder Klassenzugehörigkeit dieser Fläche gezogen.

Eine Übertragung dieser Verfahrensweise auf das Laser-Scanning ist nur sehr eingeschränkt zulässig, da die Fläche vom Laser beleuchtet wird und die Größe der ausgeleuchteten Fläche nur selten bekannt ist (KATZENBEISSER 2003c).

Der Wert der Intensität ist nur dann einigermaßen aussagekräftig, wenn über offenen flachen Flächen nur ein Echo detektiert wurde.

#### 4.8 Anwendungen

Bei digitalen Höhenmodellen wird gegenwärtig von einem Digitalen Gelände-Modell (DGM) und einem Digitalen Oberflächen-Modell (DOM) gesprochen. Mit dem DGM ist ein Modell der Bodenoberfläche gemeint, das weder Vegetation noch Bauwerke enthält. Eine eindeutige Definition für das DOM gibt es bisher nicht. Meist wird damit die Oberfläche eines Waldes (Baumkronen) oder die Dächer von Gebäuden verstanden. Führen über die Dächer gar noch Leitungen, dann sucht der Energieversorger sowohl nach der Leitung als auch nach dem Dach, die Geländehöhe ist ihm an dieser Stelle weitgehend gleichgültig.

Ähnliche Probleme gibt es auch beim DGM. Für eine Hochwasser-Simulation benötigt der Hydrauliker alle potenziellen

Hindernisse, sucht also nach allen erhöhten Objekten, während ihn kleinere Entwässerungsgräben nicht interessieren. Für eine Grundwassersimulation sucht der Hydrauliker dagegen nach allen Gräben, da diese den Grundwasserspiegel erheblich beeinflussen können. Aufgeschüttete Feldwege sind für seine Aufgabenstellung vernachlässigbar.

Ein zuverlässiges Basis-Höhenmodell muss daher eine hohe Messpunktdichte aufweisen, damit die unterschiedlichen Aufgabenstellungen etwa einer Stadt gelöst werden können. Dabei muss für die jeweilige Anwendung die Datenmenge so verringert werden, dass sie optimal zur Anwendung passt und mit üblicher Software zu verarbeiten ist.

## 5 Vor- und Nachteile der einzelnen Messverfahren

### 5.1 Terrestrische Vermessung

Genauigkeit: ~ Millimeter-Bereich (Lage und Höhe)

Vorteile:

1. Messungen sind wiederholbar,
2. extrem genaue punktuelle Oberflächenerfassung/Einzelpunktvermessung,
3. sehr effiziente Punktverteilung bei der Erfassung der Topographie.

Nachteile:

1. relativ aufwändige Messungen,
2. Massenpunkte lassen sich damit nicht sinnvoll erfassen,
3. subjektive Auswahl relevanter Punkte im Gelände.

### 5.2 Photogrammetrie

Genauigkeit: ~ 10–100 cm (Lage u. Höhe)

Vorteile:

1. Bild der Topographie liegt vor,
2. effiziente großräumige Erfassung der Topographie,
3. Erfassung von Geländeleitlinien/Bruchkanten.

Nachteile:

1. passives Messverfahren (gute Lichtverhältnisse),
2. Genauigkeit der Messpunkte variiert innerhalb des Modells,
3. Voraussetzung guter Texturen im Luftbild,
4. Objektrekonstruktion mit min. 2 Aufnahmestrahlen,
5. Aufwendige Passpunktsignalisierung.

### 5.3 Laser-Scanning

Bei einer Messentfernung von 1000 m kann man von einer Laserstrahlgenauigkeit < 20 cm ausgehen. Die Lagegenauigkeit von Objekten als Ganzes hängt zusätzlich von der Messpunktdichte und der Strahldivergenz ab.

Genauigkeit:  $\pm 15$  cm Höhe und < 0,2 m Lage

Vorteile:

1. gleichmäßige, dichte Punkterfassung,
2. flächenhafte repräsentative Aussagen,
3. aktives Messverfahren,
4. Punkterfassung, auch wenn keine Struktur vorhanden ist,
5. Objektrekonstruktion mit nur einem Aufnahmestrahle,
6. keine teuren Auswertegeräte nötig,
7. bei dichter Erfassung, jederzeit nachträgliche Sonderauswertungen der Daten möglich,
8. Multi-Echo Messungen erfassen zum Teil auch Bodenpunkte unter der Vegetation.

Nachteile:

1. „nur“ Erfassung von Höhendaten und keiner Strukturelemente (Geländeleitlinien),
2. anspruchsvolle Flugplanung je nach Geländeform,
3. Ergebnis ohne Zusatzauswertung ist ein Oberflächenmodell und kein Bodenmodell,
4. Es liegt kein Bild der Topographie vor.

Teile entnommen aus: (KRAUS 2000, KRAUS 2001, KRAUS 1994, KKVVA 2000).

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Rechnet man ab den ersten wirklich bezahlten Aufträgen für die Erfassung von Höhenmodellen mit Airborne Laser-Scanning, dann ist dieses Verfahren gerade einmal 8 Jahre „alt“. Selbst in unserer heutigen sehr schnelllebigen Zeit ist es also noch sehr jung. Airborne Laser-Scanning hat sich in diesen Jahren als sehr effizientes Werkzeug entwickelt und besitzt noch ein sehr hohes Entwicklungspotenzial. Viele Anwendungen, die bisher aus Kostengründen noch nicht in Betracht kamen, werden durch diese Messmethodik erst bezahlbar und damit möglich. Daneben gibt es eine Vielzahl von Aufgaben, bei denen die konventionelle Vermessung durch Airborne Laser-Scanning nicht ersetzt werden kann.

## 7 Literatur

- KAHMEN, H., 1993: Vermessungskunde. – 773 S., Walter de Gruyter, Berlin.
- KATZENBEISSER, R., 2003a: About the calibration of Lidar Sensors. – Proceedings of the ISPRS WG III/3 workshop “3-D reconstruction from airborne laserscanner and InSAR data”, Dresden 8–10 Oct. 2003, Vol. XXXIV, Part 3/W13.
- KATZENBEISSER, R., 2003b: Techn.-Note on Echo Detection. – [www.toposys.com](http://www.toposys.com), public download area.
- KATZENBEISSER, R., 2003c: Techn.-Note on Intensity. – [www.toposys.com](http://www.toposys.com), public download area.
- KRAUS, K., 1994: Photogrammetrie Band 1 – 394 S., Dümmler Verlag, Bonn, S. 27, 227, 277.
- KRAUS, K., 2000: Photogrammetrie Band 3 – 419 S., Dümmler Verlag, Bonn, S. 268, 286–299.
- KRAUS, K., 2001: Laser-Scanning – Ein Paradigmenwechsel in der Photogrammetrie <http://www.ipf.tuwien.ac.at/publications/kk—konstanz01/Laser-Scanning.htm>
- KKVA 2000: Leitfaden Qualitätssicherung – Photogrammetrie und DTM-Generierung, Konferenz der kantonalen Vermessungsämter (CH), Seite 3-4, 27–30. [http://www.kkva.ch/downloads/richtlinien/photogrammetrie/qs—photo grammetrie.pdf](http://www.kkva.ch/downloads/richtlinien/photogrammetrie/qs—photo%20grammetrie.pdf),
- LÖFFLER, G., 2003: Aspects of Raster DEM Data Derived from Laser Measurements – Proceedings of the ISPRS WG III/3 workshop “3-D reconstruction from airborne laserscanner and InSAR data”, Dresden 8-10 Oct. 2003, Vol. XXXIV, Part 3/W13. ISPRS
- SCHENK, T., SEO, S. & CSATHO, B., 2001a: Accuracy study of airborne laser scanning data with photogrammetry. – International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, XXXIV-3/W4: 113–118.
- SCHENK, T., 2001b: Modeling and Recovering Systematic Errors in Airborne Laser Scanners. – Proceedings of OEEPE workshop on Airborne Laserscanning and Interferometric SAR for Detailed Digital Elevation Models, 1–3 March 2001, Stockholm, Schweden; Publication no. 40, pp 40–48
- Links:  
[www.airbornelasermapping.com](http://www.airbornelasermapping.com)  
[www.ifp.uni-stuttgart.de](http://www.ifp.uni-stuttgart.de)  
[www.ipf.tuwien.ac.at](http://www.ipf.tuwien.ac.at)  
[www.iuw.uni-vechta.de/personal/geoinf/jochen/laser-tutorial.htm](http://www.iuw.uni-vechta.de/personal/geoinf/jochen/laser-tutorial.htm)  
[www.kkva.ch](http://www.kkva.ch)  
[www.toposys.com](http://www.toposys.com)
- Anschrift der Autoren:  
 Dr.-Ing. ROLF KATZENBEISSER  
 e-mail: [r.katzenbeisser@toposys.com](mailto:r.katzenbeisser@toposys.com)  
 Dipl.-Ing. SVEN KURZ  
 e-mail: [s.kurz@toposys.com](mailto:s.kurz@toposys.com)  
 TopoSys GmbH,  
 Obere Stegwiesen 26, D-88400 Biberach
- Manuskript eingereicht: Januar 2004  
 Angenommen: März 2004



## Das digitale flugzeuggetragene low-cost Fernerkundungssystem PFIFF

GÖRRES GRENZDÖRFFER, Rostock

**Keywords:** remote sensing, digital aerial photography, aerotriangulation, digital airborne imaging system, PFIFF-system

**Zusammenfassung:** Neben digitalen Kamerasystemen, die die analogen Reihenmesskammern zukünftig ersetzen sollen, sind in den letzten Jahren weltweit verschiedenste „low-cost“ Systeme entwickelt worden. Der Beitrag gibt eine Übersicht über die notwendigen Schlüsselkomponenten und den Stand flugzeuggetragener digitaler low-cost Fernerkundungssysteme. PFIFF als low-cost System des Instituts für Geodäsie und Geoinformatik Rostock wird im Hinblick auf das photogrammetrische Potential anhand mehrerer Beispiele vorgestellt. Ein Vergleich mit HRSC-Aufnahmen verdeutlicht die exzellenten radiometrischen Eigenschaften von PFIFF.

**Summary:** *PFIFF, a new low-cost digital airborne remote sensing system.* Beside high-end digital imaging systems which will replace standard photogrammetric cameras in the future, a large number of “low-cost” airborne systems were developed in the last years. A categorization in terms of their main components and their generated products is given. The system PFIFF, a digital airborne remote sensing system developed by the author, is described in detail with special respect to demonstrate the photogrammetric potential of PFIFF. Due to the excellent radiometric properties and the dynamics of the 12 bit digital colour sensor PFIFF has better radiometric performance than the HRSC-AX.

### 1 Einleitung

Die flächendeckende Einführung digitaler Aufnahmesysteme, die die analogen Reihenmesskammern zukünftig ersetzen werden, lässt noch etwas auf sich warten. Warum? Digitale Systeme wie z. B. DMC, ADS 40 oder UltraCam sind auf dem Markt und mittlerweile technisch ausgereift (GRUBER et al. 2003, HINZ et al. 2001, FRICKER 2001). Ein Gewinn versprechender Einsatz erscheint derzeit jedoch für viele, insbesondere kleinere Bildflugfirmen, nicht gegeben, vor allem aufgrund der hohen Systemkosten, die die vielfältigen Vorteile der digitalen Aufnahmetechnik, die z. B. GRUBER et al. 2003 eindrücklich beschrieben haben, nicht kompensieren können. Ganz anders verhält sich das im Bereich der so genannten „low-cost“ Systeme; hier hat sich ein vollständig digitaler Workflow, von der Aufnahme bis zum

Orthophoto bzw. DOM, etabliert. Die Einsatzschwerpunkte digitaler low-cost Systeme sind entweder neue Anwendungsfelder, wie z. B. Precision Farming, oder aber sie verdrängen die Reihenmesskammer in Bereichen, in denen diese zu teuer bzw. zu unflexibel ist, wie z. B. beim Laserscanning, bei der gleichzeitig eine digitale Kamera die Erdoberfläche aufnimmt. Grundsätzlich können digitale low-cost Systeme gegenüber einer Reihenmesskammer in folgenden Punkten überlegen sein:

- geringerer Preis pro Fläche, insbesondere für kleinere Gebiete von wenigen km<sup>2</sup> bzw. bei geringen Bodenauflösungen,
- kürzerer Turn-around-Zeitraum von der Aufnahme bis zum ersten Bild bzw. fertigen Produkt durch einen automatischen digitalen Workflow oder
- Kombination von Senkrecht und Schrägaufnahmen.

## 2 Kategorisierung digitaler low-cost Systeme

In den letzten Jahren sind weltweit vornehmlich an Forschungseinrichtungen verschiedenste digitale flugzeuggetragene Fernerkundungssysteme für unterschiedlichste Anwendungsschwerpunkte entwickelt worden. Entsprechend der Zielstellung sind Systeme unterschiedlicher Komplexität und Leistungsfähigkeit entstanden, z. B. BÄUMKER et al. 1999, BUCKLEY et al. FRANKE & MONTGOMERY 2000, HOLM & RAUTAKORPI 1999, MOSTAFA & SCHWARZ 2000, THOM & SOUCHON 1999, TOTH 1999. Neben den universitären Entwicklungen gibt es auch kommerzielle Systeme, z. B. ADAR von Positive Systems oder EMERGE<sup>TM</sup> von Emerge, DAIS von Space Imaging (vgl. PETRIE 2003 für eine Übersicht der kommerziellen Lösungen).

Die genannten Systeme reichen von „low-end“ Systemen, die für die Aufnahme einzelner Senkrecht- oder Schrägaufnahmen geeignet sind, bis hin zu professionellen „high-end“ Systemen, die für eine direkte Georeferenzierung von Bildverbänden, Streifen oder Einzelaufnahmen geeignet sind. Unabhängig von der speziellen technischen Umsetzung sind für ein flugzeuggetragenes digitales Bildflugsystem mehrere Schlüsselkomponenten notwendig:

- Eine Digitale Kamera, die für den Bildflug geeignet ist. Das bedeutet, die Kamera muss extern gesteuert und mit Strom versorgt werden können. Sie sollte eine schnelle und kontinuierliche Bildfolge ermöglichen, die Daten sollten möglichst auf einem externen Medium speicherbar sein, um einen Wechsel des Datenträgers während des Bildfluges zu vermeiden. Besonders wichtig ist eine hohe Zuverlässigkeit der digitalen Kamera. Neben der Farbdigitalkamera, die in den meisten Systemen eingesetzt und über einen Mosaikfilter mit anschließender Farbinterpolation die RGB-Werte für jedes Pixel erzeugt, sind im low-cost Bereich auch Mehr-Kamera-Systeme entwickelt worden, die dann auch eine CIR-Aufnahme ermöglichen. Bei großmaßstäbigen Luft-

bildern bzw. bei schnell fliegenden Flugzeugen kann darüber hinaus noch eine elektronische oder mechanische Forward Motion Compensation (FMC) sinnvoll sein.

- Ein Flug-Management-System zur Navigation in der Luft und zur Auslösesteuerung der Kamera. Dabei kann die Auslösesteuerung entweder in bestimmten Zeitintervallen erfolgen oder über die Vorgabe bestimmter Zielkoordinaten.
- Ein GPS/(INS) zur Erfassung der genähernten bzw. exakten Parameter der äußeren Orientierung. Die Genauigkeit des GPS/INS bestimmt die Möglichkeit zur direkten Georeferenzierung. Während GPS/INS mit Genauigkeiten ( $x, y, z < 1 \text{ m}, \omega, \phi, \kappa < 0.4^\circ$ ) den Prozess der Aerotriangulation stark automatisieren können, ist bei Genauigkeiten von ( $x, y, z < 0.1 \text{ m}, \omega, \phi, \kappa < 0.01^\circ$ ) eine hochgenaue direkte Georeferenzierung möglich.
- Eine (stabilisierte) Aufhängung, um die Vibrationen des Flugzeugs nicht auf die Kamera zu übertragen und die Flugzeugbewegungen zu kompensieren. Bei einer stabilisierten Plattform kann über eine Kompensation des Triftwinkels zusätzlich noch die Querüberlappung minimiert werden.

Die Effizienz eines digitalen Aufnahmesystems stellt für den Entwickler bzw. Käufer immer einen Kompromiss im Hinblick auf die mögliche Aufnahmekonfigurationen, den Aufwand der Datenprozessierung, den Zeitaufwand und den Systempreis dar. Mit der Nutzung von aufeinander abgestimmten leistungsfähigen Komponenten können der Bildflug und die Auswertung sehr effizient und nahezu vollautomatisch gestaltet werden. Auf der anderen Seite steigt der Systempreis unter Umständen dramatisch und macht dadurch ein großes Auftragsvolumen bzw. einen großen Datendurchfluss notwendig. Insgesamt können fünf verschiedene Kategorien digitaler flugzeuggetragener Systeme unterschieden werden (siehe Tab. 1):

1. low-end Systeme, die Senkrecht- und Schrägaufnahmen („hübsche Bilder“) erzeugen können,

**Tab. 1:** Kategorisierung flugzeuggetragener digitaler „low-cost“ Systeme.

|  | <i>Low-end</i> | <i>Low-Mid-end</i> | <i>Mid-end</i> | <i>Mid-High-end</i> | <i>High-end</i> |
|--|----------------|--------------------|----------------|---------------------|-----------------|
| Digitale Video-/Consumer Kamera<br>Digitale Mittelformatkamera<br>Photogrammetrische/multi-<br>spektrale Spezialkamera | ×              | ×                  | ×              | ×                   | ×               |
| GPS<br>GPS /L1-DGPS<br>RTK-GPS   | ×              | ×                  | ×              | ×                   | ×               |
| Einfaches GPS-Flug-Management<br>System  | ×              | ×                  |                |                     |                 |
| Automatische Bildfolgeauslösung  |                | ×                  | ×              | ×                   | ×               |
| Flug Management System mit<br>Event Marker   |                |                    | ×              | ×                   | ×               |
| Stabilisierte Plattform  |                |                    |                | ×                   | ×               |
| GPS-INS<br>( $x, y, z < 1 \text{ m}, \omega, \varphi, \kappa < 0,4^\circ$ )  |                |                    |                | ×                   |                 |
| GPS-INS<br>( $x, y, z < 0,1 \text{ m}, \omega, \varphi, \kappa < 0,01^\circ$ )   |                |                    |                |                     | ×               |
| Verarbeitungszeit <sup>1</sup>   | N/A            | 1 h/100 h          | 45 min/75 h    | 15 min/75 h         | 5 min/8 h       |
| Preis <sup>2</sup>   | < 5 000 €      | < 10 000 €         | < 50 000 €     | < 100 000 €         | < 500 000 €     |

<sup>1</sup> für einzelne Orthobilder/100 Orthobilder, grobe Zeitschätzung, um die Differenzen zu verdeutlichen

<sup>2</sup> grobe Schätzung des Systempreises, ohne die Kosten für die photogrammetrische Auswertesoftware.

2. low- bis mid-end Systeme, mit denen Orthophotos erzeugt werden können,
3. mid-end Systeme, die eine direkte Georeferenzierung von Blöcken ohne automatische Erzeugung von Verknüpfungspunkten ermöglichen,
4. mid- bis high-end Systeme, die eine direkte Georeferenzierung von Blöcken mit automatischer Erzeugung von Verknüpfungspunkten zulassen und
5. high-end Systeme, die eine direkte Georeferenzierung von Blöcken, Streifen und einzelnen Aufnahmen gewährleisten.

### 3 Der Bildflug mit einem kleinen Sportflugzeug

Um für kleine Gebiete flexible Schräg- und Senkrechtaufnahmen machen zu können, ist

der Einsatz von speziellen Vermessungsflugzeugen vielfach zu aufwendig. In verschiedensten Projekten werden deshalb auch einmotorige Sportflugzeuge bzw. Ultra-Light Flugzeuge verwendet. Da Ballons und Modellflugzeuge keine signifikante Flächenleistung erbringen, wird im Folgenden nur der low-cost Bildflug mit Hilfe kleiner Sportflugzeuge näher betrachtet. Dabei gibt es grundsätzlich drei Möglichkeiten, mit Sportflugzeugen Senkrechtaufnahmen zu machen:

1. Tür ausbauen und der Kopilot hängt sich – selbstverständlich gut angeschnallt und mit einer eng anliegenden Schwimmbrille o.ä. versehen – aus dem Flugzeug und macht die Aufnahmen.
2. Die Kamera wird außen am Flugzeug montiert, ohne die Statik des Flugzeugs zu

beeinträchtigen, z. B. AlphaLuftbild 2003. Von Vorteil ist vor allem, dass ohne großen Aufwand jedes Flugzeug eines Bautyps verwendet werden kann. Allerdings muss die Kamerasteuerung von innen realisiert werden.

3. Ein Sportflugzeug mit einer kleinen Bodenluke. Ein Durchmesser von 10–15 cm ist für die meisten Objektive durchaus ausreichend. Die Bodenluke sollte sich im Bereich der hinteren Sitzbank befinden, die zu diesem Zweck einfach ausgebaut wird. Es ist darauf zu achten, dass sich die Bodenluke nicht direkt hinter dem Auspuff befindet.

Im Gegensatz zu gebräuchlichen zweimotorigen Vermessungsflugzeugen (z. B. Cessna 404, DO 28D) mit einer Standardbodenluke weisen Sportflugzeuge, wie z. B. eine einmotorige Cessna 172, einige Besonderheiten auf, die auch für den Bildflug Konsequenzen haben, siehe Tab. 2.

Die dargestellten Unterschiede zwischen einem Vermessungsflugzeug und einem Sportflugzeug führen für die low-cost Anwendung zu folgenden Konsequenzen:

- Während ein schnelles zweimotoriges Flugzeug binnen eineinhalb Stunden jedes Aufnahmegebiet innerhalb Deutschlands erreichen kann, führt die geringe Anfluggeschwindigkeit bei Sportflugzeugen zu

einer regionalen Beschränkung des Einsatzgebiets bei den üblichen instabilen Wetterlagen. Die größere Reichweite der Vermessungsflugzeuge bedeutet eine bessere Auslastung des Flugzeugs bei den vorherrschenden zyklonalen Wetterlagen, die von West nach Ost durchziehen. Aus der bisherigen Erfahrung ist aufgrund der Überschaubarkeit der Witterungsbedingungen sowie aus Kostengesichtspunkten ein Bildflug mit der Cessna 172 im Radius von maximal 1,5–2 Flugstunden sinnvoll.

- Die größere Motorleistung eines Vermessungsflugzeugs, das gleichzeitig mit größeren Tanks ausgestattet ist, erlaubt einen schnellen Aufstieg auf die gewünschte Höhe und einen langen kontinuierlichen Bildflug. Mit der Steiggeschwindigkeit von 500 ft./min. dauert es mit der Cessna 172 ca. 20 Minuten, bis die maximale Flughöhe des unkontrollierten Luftraums von 10.000 ft. (= 3.050 m) erreicht ist. Deshalb kann es bei in der Nähe des Flughafens liegenden Projekten durchaus ratsam sein, in geringerer Höhe zu arbeiten.
- Die vergleichsweise geringe Bildfluggeschwindigkeit der Cessna 172 bedeutet einerseits, dass der Überflug eines Untersuchungsgebietes länger dauert, was ein höheres Witterungsrisiko aufziehender Bewölkung bedeutet. Mit der Bildflug-

**Tab. 2:** Vergleich Vermessungsflugzeug und Sportflugzeug vom Typ Cessna 172.

|                                       | <b>Cessna 172</b> | <b>Vermessungsflugzeug*</b> |
|---------------------------------------|-------------------|-----------------------------|
| Fluggeschwindigkeit (Anflug) [km/h]   | 150–200           | 300–700                     |
| Fluggeschwindigkeit (Bildflug) [km/h] | 140–180           | 180–300                     |
| Anzahl Motoren                        | 1                 | (1)–2                       |
| Max Flugdauer [h]                     | 5                 | 6–8                         |
| Steiggeschwindigkeit [m/s]            | 2,5               | 5–8                         |
| Max. Steighöhe [m]                    | 3 500             | 8 000–10 000                |
| Durchmesser Bodenluke                 | 14 cm             | 57 cm                       |
| Navigation                            | Sichtflug         | Instrumentenflug            |
| Preis pro Flugstunde                  | 120–300 €         | 400–1000 €                  |

\* durchschnittliche Werte gängiger Flugzeugtypen – Quelle: ALBERTZ & KREILING 1989



geschwindigkeit ist auch die Flächenleistung pro Stunde verbunden, die bei einem Vermessungsflugzeug annähernd doppelt so groß ist. Andererseits verringert die geringe Fluggeschwindigkeit auch die Bewegungsunschärfe.

- Damit jede Schönwetterlage genutzt werden kann, ist ein Vermessungsflugzeug mit einer Instrumentenflugausrüstung (IFR) ausgestattet, die auch Starts z. B. aus einer Bodennebelsituation heraus ermöglichen. Bei diesen Situationen muss ein Sportflugzeug üblicherweise am Boden bleiben, denn für einen Start nach Sichtflugregeln (VFR) ist eine Sichtweite von mindestens 5 Kilometern notwendig.
- Um auch bei kleinen Befliegungsgebieten wirtschaftlich Bildflüge durchführen zu können, sind die Kosten für das Flugzeug pro Stunde von ausschlaggebender Bedeutung. Hier liegt die eigentliche Stärke eines Sportflugzeugs, welches in der Anschaffung und im Unterhalt wesentlich günstiger ist als ein spezielles Vermessungsflugzeug, das ausschließlich für den Bildflug genutzt wird.

### Bildwanderung

Um Unschärfen zu vermeiden, muss die Bildwanderung, die durch die Vorwärtsbewegung des Flugzeugs während der Aufnahme entsteht, berücksichtigt und ggf. kompensiert werden. Während dieser Effekt bei einer Reihenschleife durch eine mechanische FMC kompensiert werden kann, muss für den digitalen low-cost Bildflug erst geprüft werden, ob dieser Effekt wegen der geringeren Fluggeschwindigkeit eines Kleinflugzeugs überhaupt relevant ist. Die theoretische Bildwanderung  $b_w$  eines Objekts beträgt:

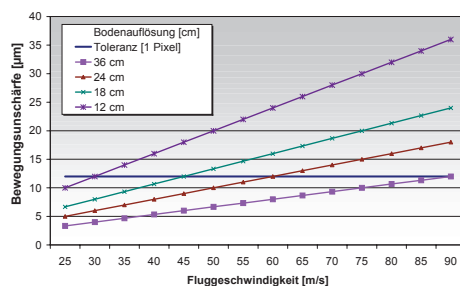
$$b_w = \frac{c \cdot v_g \cdot t}{H_g} \quad (1)$$

wobei  $c$  die Kammerkonstante [m],  $v_g$  die Geschwindigkeit des Flugzeugs über Grund [m/s],  $t$  die Belichtungszeit [s] sowie  $H_g$  die Flughöhe [m] ist. Anhand der Parameter wird deutlich, dass die Bewegungsunschärfe bei langen Belichtungszeiten, mit

größer werdendem Bildmaßstab und höherer Geschwindigkeit des Flugzeugs zunimmt. Für die photogrammetrische Bildauswertung ist jedoch die praktische Bildwanderung von Bedeutung, die ungefähr die Hälfte der theoretischen Bildwanderung ausmacht.

Für die digitale Photogrammetrie ist ein elektronisches FMC entwickelt worden, das durch synchrones Auslesen der CCD-Zeilen mit der Fluggeschwindigkeit erreicht wird, vgl. HINZ et al. 2001. Die damit maximal erzielte Genauigkeit liegt bei 0,5 Pixel. Diese Technik ist für die nachfolgend noch genauer vorgestellte Rollei db23 nicht anwendbar, da sie eine exakte hardwareseitige Steuerung des Auslesevorgangs erfordert. Allgemein gesprochen wird eine elektronische FMC nur für spezielle „photogrammetrische“ CCD-Chips eingesetzt. Um die Bildwanderung bei einem Flug mit einer Geschwindigkeit von  $< 70$  m/s zu unterdrücken, ist eine Belichtungszeit von  $1/250$ – $1/500$  s. in der Regel ausreichend. Abb. 1 verdeutlicht die Notwendigkeit einer FMC für verschiedene Bodenauflösungen in Abhängigkeit der Geschwindigkeit des Flugzeugs.

Abbildung 1 verdeutlicht, dass für kleinmaßstäbige Anwendungen (z. B. in der Landwirtschaft) die Bildwanderung keine praktische Bedeutung hat. Für großmaßstäbige Befliegungen (z. B. für Stadtbefliegungen) mit Bodenauflösungen  $< 20$  cm, kann die Bildwanderung problematisch werden, vor allem dann, wenn die Lichtverhältnisse Belichtungszeiten von  $1/500$  s. nicht zulassen. Zukünftig wird das Problem der Bild-



**Abb. 1:** Theoretische Bildwanderung der Rollei db23 in Abhängigkeit der Fluggeschwindigkeit bei einer Belichtungszeit von  $1/250$  s.

wanderung noch kritischer, da bei immer größeren CCD-Chips mit  $4K \times 4K$  die Bildelementgrößen immer kleiner werden ( $6-9 \mu\text{m}$ ).

#### 4 PFIFF

PFIFF, ein digitales flugzeuggetragenes Fernerkundungssystem, wurde vom Autor ursprünglich für die speziellen Anforderungen des Precision Farmings entwickelt (GRENZDÖRFFER 2002). Diese Anforderungen – geringe Kosten, hohe Bodenauflösung und schnelle Datenprozessierung – sind natürlich auf viele andere Anwendungen übertragbar.

##### System Komponenten von PFIFF

Bis zum Juli 2002 bestand das Herzstück von PFIFF aus einem Farbdigitalrückteil Rollei DSP 104 mit einer Auflösung von  $2010 \times 2018$  Pixel. Dieser Sensor konnte im Sommer 2002 durch eine Rollei db23, ein Nachfolgemodell mit einer höheren Auflösung und einer sehr viel kürzeren Bildfolgezeit, ersetzt werden; siehe Tab. 3 für die technischen Details der Kameras. Mit der Bildfolgezeit von weniger als 2 Sekunden sind seitdem photogrammetrische Bildflüge

(60%-Längsüberlappung) mit Bodenauflösungen von 11–15 cm möglich. Beide digitale Rückteile sitzen auf einem Rolleiflex 6008 Integral Kamerakörper und einem Zeiss Distagon 4/50-Objektiv. Die Digitalkamera wird über einen Laptop gesteuert, auf dem auch die Daten gespeichert werden.

Andere wichtige Komponenten von PFIFF sind das GPS-gestützte Flug-Management-System und der Navigationsrechner, der die automatische Auslösesteuerung der Kamera übernimmt. Gleichzeitig werden die Auslöseverzögerung bestimmt und Näherungswerte der äußeren Orientierung aufgezeichnet. Die Auslösesteuerung ist mit dem PPS-Signal des GPS gekoppelt, um eine optimale zeitliche Synchronisation mit dem externen geodätischen L1/L2-GPS-Empfänger zu gewährleisten. Für einen Photoflug wird das System temporär in eine Cessna 172 mit einer kleinen Bodenluke von ca. 12 cm Durchmesser eingebaut, Abb. 2 verdeutlicht das Systemdesign.

Beim Einsatz einer Digitalkamera für den Bildflug sind nicht nur die Größe des CCD-Chips von Bedeutung, sondern auch viele andere Eigenschaften der Kamera, z. B. Bildfolgezeit, Massenspeicher, Previewoption, mechanische Stabilität, zeitliche Exzentrizität, Zuverlässigkeit und die radio-

**Tab. 3:** Technische Parameter der Rollei DSP 104 und der Rollei db23.

|                        | Rollei DSP 104                                       | Rollei db23                                      |
|------------------------|--|--|
| Kamera Typ             | Rolleiflex 6008 mit angekoppeltem digitalen Rückteil | Rolleiflex 6008 mit fixiertem digitalen Rückteil |
| Auflösung              | $2010 \times 2018$                                   | $3056 \times 2032$                               |
| Pixel Größe            | $15 \mu\text{m} \times 15 \mu\text{m}$               | $12 \mu\text{m} \times 12 \mu\text{m}$           |
| Sensor [mm]            | $30,15 \times 30,27$                                 | $36,67 \times 24,38$                             |
| Farbtiefe pro Kanal    | 12 Bit   | 12 Bit   |
| min. Bildfolgezeit     | ca. $7^1$ sec. (RapidShot Mode)                      | ca. $1.8^1$ sec.                                 |
| Gewicht (inkl. Kamera) | ca. 2200 g   | ca. 1500 g                                       |
| Anbindung an Computer  | SCSI II, Apple Powerbook G3                          | Firewire, MS-Windows Notebook                    |
| Software               | Rollei DSP 104 Vers. 2.1.5                           | Phase One 2.7                                    |

<sup>1</sup> Wert für zwei aufeinander folgende Aufnahmen, für sichere Bildfolgen in einem Streifen sind 50% zu addieren.

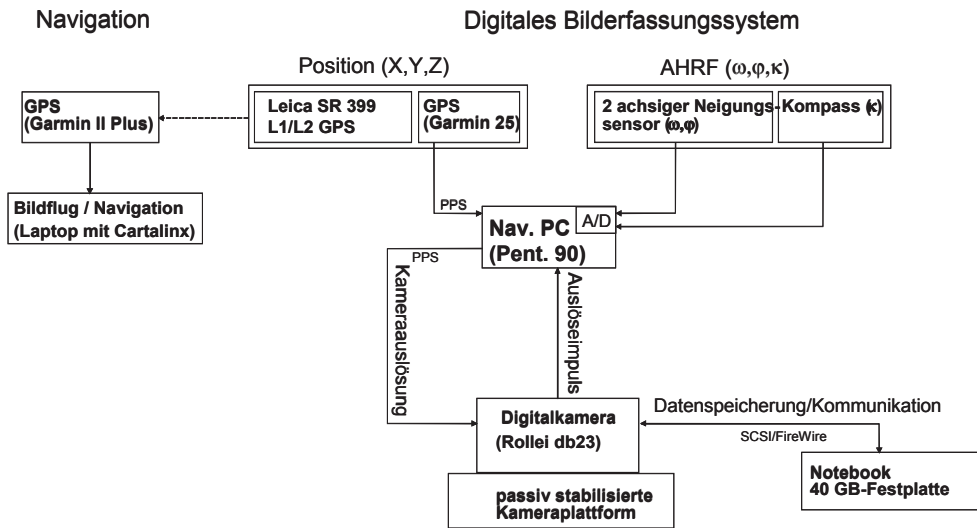


Abb. 2: Digitales low-cost Fernerkundungssystem PFIFF.

metrischen Eigenschaften. Deshalb ist die Kamera aufwendig radiometrisch und geometrisch getestet und kalibriert worden. Für die photogrammetrische Auswertung wurde die Innere Orientierung der Kamera bestimmt. Bei der DSP 104, bei der das digitale Rückteil nicht fixiert ist, war insbesondere die Hauptpunktlage variabel und musste über eine Simultankalibrierung für jeden Flug extra bestimmt werden. Mit dem fixierten digitalen Rückteil der Rolleiflex db23 ist dieser Arbeitsschritt nicht mehr notwendig. Die Untersuchung der Linearität, der spektralen Charakteristika der RGB-Bandfilter und des Signal-Rausch-Verhältnisses verdeutlichte die Überlegenheit der digitalen Variante gegenüber einer analogen Kamera.

## 5 Praktische Erfahrungen mit PFIFF

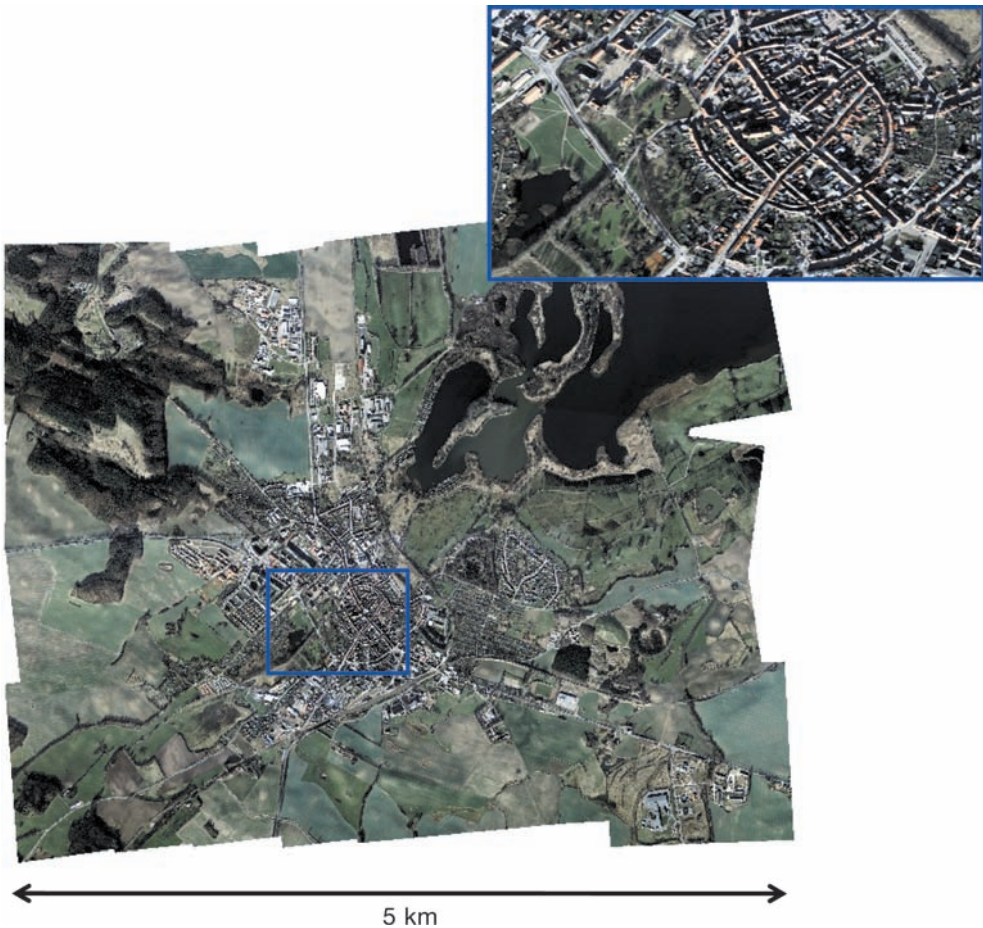
Zwischen 1999 und 2003 wurden einzelne Komponenten und PFIFF als Gesamtsystem in mehr als 65 Bildflügen mit insgesamt über 7.000 Aufnahmen getestet. Der erste „photogrammetrische“ Testflug im November 2000 verdeutlichte das hohe geometrische Potential des Systems, das eine Subpixel-Genauigkeit durch die Verwendung eines hochgenauen GPS-Empfängers im Rahmen einer passpunktlosen Aerotriangula-

tion ermöglicht (GRENZDÖRFFER 2002). Um das photogrammetrische Potential von PFIFF für verschiedene Anwendungsfelder mit Bodenauflösungen von 15–70 cm zu verdeutlichen, werden im Folgenden zwei Projekte näher vorgestellt.

### 5.1 Beispiel 1 – Projekt Teterow

Der Block Teterow, geflogen am 14. 2. 2003 mit einer Fläche von 5,3 km × 4,3 km, bestand aus 32 Aufnahmen, die in 4 Flugstreifen aus einer Höhe von ca. 2.400 m aufgenommen wurden. Die sich daraus ergebende Bodenauflösung betrug 70 cm/Pixel. Ziel des Fluges war eine Untersuchung der Einsatzmöglichkeiten von PFIFF im Hinblick auf die Erfassung winterlicher Überschwemmungsereignisse (Abb. 3).

Als GPS-Referenzstation konnte auf die SAPOS-Station Güstrow zurückgegriffen werden, die ca. 30 km vom Untersuchungsgebiet entfernt lag. Dennoch konnten bei der GPS-Prozessierung die Phasenmehrdeutigkeiten problemlos gelöst werden. Zur Bestimmung der genauen Aufnahmeposition muss die Auslöseverzögerung zwischen dem Auslöseimpuls und der tatsächlichen Aufnahme berücksichtigt werden. Dazu wurde für das Projektionszentrum die registrierte



**Abb. 3:** Block „Teterow“, 14. 02. 02 aus 32 Bildern, Bodenauflösung 70 cm.

Auslöseverzögerung durch eine lineare Interpolation zwischen den mit 1 Hz aufgezeichneten GPS-Positionen interpoliert. Der Vektor Antenne-Kamera besteht nur aus einem Offset und kann als konstant angenommen werden, da die GPS-Antenne auf dem Dach des Flugzeugs direkt über der Kamera positioniert ist. Die Bilder wurden binnen drei Tagen nach dem Flug in der oben beschriebenen Art und Weise ohne Passpunkte mit der Software ERDAS Orthobase ortho-rectifiziert. Der arbeitsintensivste Schritt stellt die manuelle Bestimmung der initialen Verknüpfungspunkte dar. Darauf aufbauend konnten pro Bild ca. 25 weitere Verknüpfungspunkte automatisch generiert werden.

Die innere Genauigkeit des Blocks (RMS), die anhand der Verknüpfungspunkte bestimmt wird, lag bei 0,39 Pixel. Die äußere Genauigkeit wurde durch 4 Vollpasspunkte ermittelt, die zuerst als Checkpunkte in die Aerotriangulation eingeführt wurden. Die Abweichungen an diesen Punkten lag bei 0,97 m in X, 1,47 m in Y und 1,19 m in Z. Durch die anschließende Einbindung der vier Passpunkte in die Aerotriangulation konnte die absolute Lagegenauigkeit auf 0,13 m in X, 0,30 m in Y und 1,08 m in Z gesteigert werden, was eine Subpixelgenauigkeit in der Lage bedeutet. Die um den Faktor 3–4 schlechtere Höhengenaueigkeit gegenüber der Lagegenauigkeit liegt auf-

grund des geringen Basisverhältnisses von 0,24 durchaus im erwarteten Rahmen.

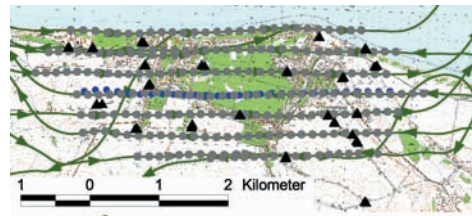
Bei der Mosaikierung ländlicher Gebiete ist in erster Linie darauf zu achten, dass Hot-Spot-Effekte eliminiert werden, um ein radiometrisch homogenes Ergebnis des Mosaiks zu erhalten. Die Differenzen, die z. B. durch den über das DGM nicht korrigierten Lageversatz von Bäumen und Gebäuden in benachbarten Aufnahmen verursacht werden, sind gering und müssen bei der Ausgabe nicht berücksichtigt werden. Deshalb konnte eine einfache automatisierte Mosaikierung durchgeführt werden, bei der die Schnittlinien automatisch generiert und die Helligkeitsunterschiede über ein Fading ausgeglichen werden (Abb. 3).

## 5.2 Beispiel 2 Kühlungsborn

Bei der Bildflugplanung für Flüge mit einer hohen Bodenauflösung müssen mehrere spezielle Aspekte bedacht werden. Die Bildflüge finden in Flughöhen von 500–1000 m über Grund, d. h. insbesondere im Sommer bei starker Konvektion in turbulenten Luftschichten statt. Bei Bodenaufösungen von 11–15 cm werden die minimale Bildfolgezeit der Digitalkamera sowie die Bildbewegung bei normalen Bildfluggeschwindigkeiten von 140–200 km/h über Grund zum Problem. Ein Flug bei minimierter Fluggeschwindigkeit von 110–140 km/h entspannt zwar das Problem der Bildfolgezeit und der Bildwanderung, gleichzeitig verringert sich die Lagestabilität des Flugzeugs zusätzlich, was zu höheren Roll-, Nick- und Kursbewegungen des Flugzeugs führt. Durch das Fehlen einer aktiven Stabilisierung ist deshalb bei der Bildflugplanung eine 35–50%ige Querüberlappung einzuplanen.

Der Bildflug der Stadt Kühlungsborn erfolgte am 24. 7. 2003 bei idealem, aber turbulentem Bildflugwetter gegen 11:00 Uhr. Die Flughöhe betrug ca. 800 m, was einer Bodenauflösung von 19 cm entspricht. Bei dem Bildflug wurden 218 Aufnahmen gemacht, von denen im weiteren 187 für die Aerotriangulation verwendet wurden.

Die Auswertung der Daten erfolgte in einem ersten Schritt über eine passpunktlose



**Abb. 4:** Bildmittenübersicht Bildflug Kühlungsborn, (Kreise = Bildmittelpunkte, Dreiecke = Passpunkte).

Aerotriangulation. Als Ergebnis der ersten Triangulation waren Restklaffungen von 10–100 cm zwischen den Bildern durch Passpunkte zu schließen. Auf dem georeferenzierten Näherungsergebnis wurden natürliche Passpunkte im Bild gesucht und eine GPS Vermessung durchgeführt. Dabei wurden 17 Doppelpasspunkte und vier Einzelpasspunkte gemessen, um eine hohe Redundanz und damit eine möglichst hohe Genauigkeit zu erzielen (Abb. 4). Von den Passpunkten wurden 37 in die Triangulation eingeführt. Um systematische Restfehler der zeitlichen Synchronisation, GPS-Drift und Offsets durch die Datumstransformation zu kompensieren, wird bei der Aerotriangulation zusätzlich der Bildhauptpunkt Simultankalibrierung mit einer Standardabweichung von 2  $\mu\text{m}$  für die Kammerkonstante und 10  $\mu\text{m}$  für die Bildhauptpunktlage durchgeführt. Das Ergebnis der abschließenden Aerotriangulation unter Verwendung der Passpunkte ergab Restklaffungen ( $1\sigma$ ) von etwa 7 cm in X, 8 cm in Y und 27 cm in der Höhe. An den 3140 Verknüpfungspunkten liegen die Restklaffungen bei 6 cm in der Lage und 28 cm in der Höhe. Der RMSE in den Bildkoordinaten liegt bei 0,33 Pixel.

Das digitale Geländemodell des Landesvermessungsamtes (DGM 25) war Grundlage für die anschließende Orthobilderzeugung. Ein Orthophotomosaik ist ein digital erstelltes Produkt, das weder ein einzelnes real aufgenommenes Foto darstellt, noch geometrisch überall einer Karte entspricht. Der Nutzer will jedoch beides: ein wunderschönes Bild auf der einen Seite und auf der anderen Seite die absolute Präzision ohne

**Tab. 4:** Vergleich von Bildflügen mit niedriger und hoher Bodenauflösung.

|                    | Hohe Bodenauflösung<br>(Pixel 12–25 cm /<br>$h_g = 500\text{--}1000\text{ m}$ )   | Geringe Bodenauflösung<br>(Pixel 40–70 cm /<br>$h_g = 2000\text{--}3000\text{ m}$ )   |
|--------------------|---|---|
| Bildflugplanung    | Querüberlappung 35–50%  | Querüberlappung 25–30%  |
| Bildflug           | <ul style="list-style-type: none"> <li>– turbulent</li> <li>– Omega max. 6–10°</li> <li>– Kappa <math>\pm 25^\circ</math> vom Sollkurs</li> <li>– Auslöseintervall am Limit</li> <li>– Bildwanderung kritisch</li> </ul>                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>– ruhig</li> <li>– Omega max. 3–5°</li> <li>– Kappa <math>\pm 10^\circ</math> vom Sollkurs</li> <li>– Auslöseintervall im grünen Bereich</li> <li>– Bildwanderung unkritisch</li> </ul>                                |
| Datenprozessierung | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Passpunkte sinnvoll</li> <li>– Lokale GPS-Transformationsparameter</li> <li>– Präzises DGM notwendig</li> <li>– Mosaikierung mit händischen Cutlines</li> <li>– Farbanpassung manuell</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>– Passpunkte nicht notwendig</li> <li>– Regionale GPS-Transformationsparameter</li> <li>– DGM mittlerer Genauigkeit</li> <li>– Mosaikierung mit automatischen Cutlines</li> <li>– Farbanpassung automatisch</li> </ul> |
| Automationsgrad    | geringer  | höher   |

sichttote Bereiche. Dies stellt, wenn die Möglichkeiten für ein automatisches „True Orthophoto“ nicht gegeben sind, insbesondere in urbanen Räumen einen Zielkonflikt dar, der nur durch Handarbeit gelöst werden kann und eine manuelle Definition von so genannten Cutlines zwischen benachbarten Bildern erfordert.

Anhand der zwei Beispiele wird deutlich, dass die Erfahrungen bei dem Bildflug und der Datenprozessierung von Aufnahmen aus 2000–3000 m Höhe nicht einfach auf Bildflüge mit Flughöhen von 500–1000 m übertragen werden können, siehe Tab. 4.

### 5.3 Vergleich mit der HRSC-AX Kamera

Für die Hansestadt Rostock und Umgebung wurde am 9. 4. und 10. 4. 2002 ein Bildflug mit der HRSC-AX-Kamera des DLR durchgeführt, für technische Details vgl. SCHOLTEN et al. 2001. Die Bodenauflösung des Nadirkanals betrug 16 cm. Daneben wurden von dem DLR auch ein optimiertes RGB-Mosaik mit ebenfalls 16 cm ausgeliefert. Der direkte Vergleich der beiden Aufnahmen bei gleicher Bodenauflösung zeigt z. B. an den Fahrbahnmarkierungen, dass das Bild von PFIFF schärfer und detailrei-

cher ist als die HRSC-AX-Aufnahme (Abb. 5a/b).

**Abb. 5a:** Detail PFIFF Aufnahme (01. 10. 2002), Auflösung 16 cm.**Abb. 5b:** Detail HRSC-AX Aufnahme (10. 04. 2002), Auflösung 16 cm.

Der Vergleich ist natürlich etwas verzerrt, da unterschiedliche atmosphärische Einflüsse bei der Bildaufnahme im Hinblick auf den Bildkontrast zu berücksichtigen sind. Nichtsdestotrotz sind das beobachtete höhere SNR und die bessere Point Spread Funktion bei PFIFF auch auf systematische Unterschiede zurückzuführen:

1. *Geringere Flughöhe, höherer Kontrast.* Der Bildflug mit PFIFF fand in einer Höhe von 650 m statt, verglichen 3 700 m für die HRSC. Der kontrastmindernde Einfluss der Atmosphäre nimmt mit der Flughöhe zu. Dies gilt umso mehr, sobald die Peblosphärenrennze von ca. 1 000–2000 m überschritten wird.

2. *Farbinterpolation ist besser als Kanalkombination.* Das RGB-Bild der HRSC ist ein Produkt, das aus Informationen von drei zu synchronisierenden Farbkanälen besteht, die nicht alle in der Fokalebene der nadirblickenden Optik angeordnet sind und Informationen aus unterschiedlichen Blickrichtungen liefern. Bei einer Matrixkamera hingegen wird die Farbinformation für alle Bildelemente aus der Nachbarschaft interpoliert, wobei sich die entsprechenden Algorithmen in den letzten Jahren stark verbessert haben

3. *Mehr Photonen ergeben ein besseres SNR.* Die Größe eines Bildelements der HRSC beträgt  $6,5 \mu\text{m}$  mit einer sehr kurzen Integrationszeit von 0,6 ms. Demgegenüber liegt die Bildelementgröße der db23 bei  $12 \mu\text{m}$  und die Integrationszeit beträgt 2 ms.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Der wichtigste Aspekt beim Bildflug ist die unbedingte Zuverlässigkeit aller Systemkomponenten. Dieser Punkt steht allerdings in einem gewissen Widerspruch zu einer universitären Entwicklung, bei der immer wieder neue Komponenten hinzugefügt bzw. geändert werden. Nichtsdestotrotz hat sich PFIFF als ein zuverlässiges System für die digitale Bilderfassung bewährt. Augenblicklich stellt insbesondere für urbane Anwendungen die große Anzahl der Aufnahmen mit den damit verbundenen Datenmengen

von mehreren Gigabytes eine große Herausforderung dar, die eine rasche Prozessierung und Lieferung der Ergebnisse behindern. Der Prozess der Aerotriangulation mit oder ohne Passpunkten erfordert immer noch einen großen manuellen Arbeitsaufwand, da ein Minimum an Verknüpfungspunkten manuell identifiziert werden müssen. Für eine automatische Verknüpfung benachbarter Bilder sind Winkelinformationen mit einer Genauigkeit von besser als  $0.4^\circ$  in  $\omega$ ,  $\varphi$ ,  $\kappa$  notwendig. Aus diesem Grund soll PFIFF zukünftig um ein GPS/INS in dieser Genauigkeitskategorie erweitert werden. Um insbesondere bei Bildflügen in niedrigen Höhen mit starken Turbulenzen die Querüberlappung reduzieren zu können und damit natürlich auch die notwendige Flugzeit sowie die Anzahl der Bilder steht eine aktive Stabilisierung, die den Triftwinkel kompensiert, ebenfalls auf der längerfristigen to-do Liste.

## 7 Literatur

- ALBERTZ, J. & KREILING, W., 1989: Photogrammetrisches Taschenbuch. – 4. Aufl., 292 S., Wichmann Verlag.
- Alphaluftbild, 2003: <http://www.alpha-luftbild.de/>
- BÄUMKER, M., BRECHTKEN, R. & HEIMES, F.-J., 1999: Direkte Georeferenzierung mit dem Luftaufnahmesystem LEO. – Internationale Geodätische Woche, Obergurgl 22. 02. 1999, 10 p.
- BUCKLEY, S.J., MILLS, J.P., CLARKE, P.J., EDWARDS, S.J., PETHIK, J. & MITSHELL, H.L., 2002: Synergy of GPS, Photogrammetry and INSAR for Coastal Zone Monitoring. – ISPRS, IGU, CIG Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications, Ottawa 2002, ISPRS Commission IV, WG IV/7.
- FRANKE, J. & MONTGOMERY, B., 2000: Experiences with a small format imaging system integrating airborne DGPS. – 20. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF, Berlin 11.–13. 10. 2000, Band 9: 245–255.
- GRENZDÖRFFER, G., 2002: Konzeption, Entwicklung und Erprobung eines digitalen integrierten flugzeuggetragenen Fernerkundungssystems für Precision Farming (PFIFF). – Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C: Vol. 552: 142 S.

- GRUBER, M., LEBERL, F. & PERKO, R., 2003: Paradigmenwechsel in der Photogrammetrie durch digitale Luftbildaufnahme? – PFG 2003 (4): 285–298.
- HINZ, A., DÖRSTEL, C. & HEIER, H., 2001: DMC – The Digital Sensor Technology of Z/I-Imaging. – In: FRITSCH, D. & SPILLER, R. (Hrsg.): Photogrammetric Week '01. – S. 93–103, Wichmann Verlag.
- HOLM, M. & RAUTAKORPI, S., 1999: Experiences of automatic creation of image mosaics and digital surface models using airborne digital camera data. – In: El-Hakim, S.F. & Gruen, A. (Eds.): Videometrics VI. – Proceedings of SPIE Vol 3641–14 (Videometrics VI, 28.–29. 1. 1999, San José, CA, USA): 139–150.
- MOSTAFA, M.M.R. & SCHWARZ, K.-P., 2000: A multi-sensor system for airborne image capture and georeferencing. – PE & RS, Vol. 66 (12): 1417–1423.
- PETRIE, G., 2003: Airborne digital frame cameras. – Geoinformatics 7, Oct./Nov. 2003, Vol. 6: 18–27.
- SCHOLTEN, F., WEWEL, F. & SUJEW, S., 2001: Einsatz digitaler Kameras im Auflösungsbereich von 5 cm–1 m – Die neue HRSC-AX Kamera-Generation in der geometrischen Analyse. – Publikation der DGPF, Band 10, 21. Wissenschaftlich Technische Jahrestagung 4.–6. 9. 2001 in Konstanz, S. 101–111.
- THOM, C. & SOUCHON, J.-P., 1999: The IGN digital camera system in progress. – In: FRITSCH, D. & SPILLER, R. (Eds.): Photogrammetric Week '99. – pp. 89–94, Wichmann Verlag.
- TOTH, C. (1999): Experiences with frame CCD arrays and direct georeferencing. – In: FRITSCH, D. & SPILLER, R. (Eds.): Photogrammetric Week'99. – pp. 95–108, Wichmann Verlag.

Anschrift des Verfassers:

Dr.-Ing. GÖRRES GRENZDÖRFFER  
Universität Rostock  
Institut für Geodäsie und Geoinformatik  
Justus-von-Liebig-Weg 6, D-18059 Rostock  
Tel.: 0381-498 2183, Fax: 0381-498 2188  
e-mail:  
goerres.grenzdorffer@auf.uni-rostock.de

Manuskript eingereicht: November 2003

Angenommen: Januar 2004



## Detection of Vehicles and Vehicle Queues in High Resolution Aerial Images\*

STEFAN HINZ, München

**Keywords:** vehicle detection, vehicle queues, urban areas, aerial imagery, image analysis

**Zusammenfassung:** *Detektion von Fahrzeugen und Fahrzeugkolonnen in hoch aufgelösten Luftbildern.*

Dieser Artikel beschreibt einen neuen Ansatz zur automatischen Detektion von Fahrzeugen in hoch aufgelösten monokularen Luftbildern. Die Detektion stützt sich alleine auf die Auswertung der Bilder und auf Meta-Daten, die üblicherweise im Zuge der Bildaufnahme aufgezeichnet werden. Das Verfahren benötigt weder externe Daten wie digitale Karten oder Geoinformationssysteme, noch ist es auf sehr eingeschränkte Domänen wie Autobahnsszenen limitiert. Im Gegensatz zu den meisten existierenden Arbeiten stützt sich die Extraktion sowohl auf lokale als auch auf globale Merkmale von Fahrzeugen. Auf lokaler Ebene wird ein Fahrzeug durch eine Drahtgitterrepräsentation modelliert, die über die rein geometrische Beschreibung hinaus auch radiometrische Merkmale und die Schattenregion beinhaltet. Eine Besonderheit des Modells ist die Abstimmung auf verschiedene Helligkeiten der Fahrzeuge. Während der Extraktion wird die Helligkeit eines Fahrzeuges geschätzt, dementsprechend das Modell angepasst und erst anschließend die Qualitätsmaße für eine Fahrzeughypothese berechnet.

Die lokalen Fahrzeugmerkmale werden ergänzt durch globale Merkmale, die sich von der verkehrstypischen Kolonnenbildung ableiten. Solche Merkmale sind geometrische und radiometrische Regelmäßigkeiten, die sich durch auffällige Fahrzeugsymmetrien und ähnliche Abstände zwischen Fahrzeugen innerhalb einer Kolonne ergeben. Das Ergebnis der Kolonnenextraktion wird anschließend mit den zuvor detektierten Fahrzeugen fusioniert. Auf Basis des Fusionsergebnisses lassen sich dann weitere Fahrzeuge finden, was zu einer wesentlich höheren Vollständigkeit des Gesamtergebnisses führt.

Die Funktionsweise des Verfahrens wird anhand von Beispielen illustriert und diskutiert. Eine Evaluierung der Ergebnisse zeigt die Stärken des Ansatzes, aber auch seine Schwächen, wodurch eindeutige Richtungen für zukünftige Forschungsarbeiten aufgezeigt werden.

**Summary:** This paper introduces a new approach to automatic vehicle detection in monocular high resolution aerial images. The presented approach neither relies on external information like digital maps or site models, nor it is limited to very constrained environments as, e. g., highway scenes. In contrast to most of the related approaches, the extraction relies upon both local and global features of vehicles. To model a vehicle on *local level*, a 3D-wireframe representation is used that describes the prominent geometric and radiometric features of cars including their shadow region. The radiometric part of the model is adaptive because, during extraction, the expected saliencies of various edge features are automatically adjusted depending on viewing angle, vehicle color, and current illumination direction. The extraction is carried out by matching this model "top-down" to the image and evaluating the support found in the image. On *global level*, the detailed local description is extended by more generic knowledge about vehicles as they are often part of *vehicle queues*. Such groupings of vehicles are modeled by ribbons that exhibit the typical symmetries and spacings of vehicles over a larger distance. By fusing vehicles found using the local and the global model, missing extractions can be recovered, and henceforth the overall extraction gets more complete. Various examples of complex urban traffic scenes illustrate the applicability of this approach. However, they also show the deficiencies which clearly define the next steps of our future work.

---

\* A preliminary version of this article has been presented at the ISPRS Photogrammetric Image Analysis Conference (PIA'03), Munich, 17.–19. Sept. 2003.

## 1 Introduction

### 1.1 Motivation

This paper deals with automatic detection and counting of cars in high resolution aerial imagery. Research on this topic is motivated from different fields of application: Traffic-related data play an important role in urban and spatial planning, e. g., for road planning and for estimation or simulation of air and noise pollution. In recent years, attempts have been made to derive traffic data also from aerial images, because such images belong to the fundamental data sources in many fields of urban planning. Therefore, an algorithm that automatically detects and counts vehicles in aerial images would effectively support traffic-related analyses in urban planning. Furthermore, because of the growing amount of traffic, research on car detection is also motivated from the strong need to automate the management of traffic flow by intelligent traffic control and traffic guidance systems. Other fields of application are found in the context of military reconnaissance and extraction of geographical data for Geo-Information Systems (GIS), e. g., for site model generation and up-date.

This article is organized as follows: In the remainder of this section related work on automatic vehicle detection is discussed and a brief overview of our approach is given. Then, Section 2 describes the extraction of (single) vehicles using local features represented by a detailed parametric vehicle model. Section 3 continues with explaining the algorithm for vehicle queue detection, before the fusion of both extractions is outlined in Section 4. Finally, Section 5 discusses results achievable with our approach.

### 1.2 Related Work

Related work on vehicle detection can be distinguished based on the underlying type of modeling used: Several authors propose the use of an appearance-based, implicit model (RUSKONÉ et al. 1996, RAJAGOPALAN et al. 1999, SCHNEIDERMAN & KANADE 2000,

PAPAGEORGIU & POGGIO 2000). The model is created by example images of cars and typically consists of grayvalue or texture features and their statistics assembled in vectors. Detection is then performed by computing the feature vectors from image regions and testing them against the statistics of the model features. The other group of approaches incorporates an explicit model that describes a vehicle in 2D or 3D, e. g., by a filter or wire-frame representation (BURLINA et al. 1995, TAN et al. 1998, HAAG & NAGEL 1999, LIU et al. 1999, LIU 2000, MICHAELSEN & STILLA 2000, ZHAO & NEVATIA 2001, HINZ & BAUMGARTNER 2001, MOON et al. 2002). In this case, detection relies on either matching the model “top-down” to the image or grouping extracted image features “bottom-up” to construct structures similar to the model. If there is sufficient support of the model in the image, a vehicle is assumed to be detected.

Only a few authors model vehicles as part of queues. BURLINA et al. (1997) extract repetitive, regular object configurations based on their spectral signature. In their approach, the search space is limited to roads and parking lots using GIS-information. This seems necessary since the spectrum will be heavily distorted if adjacent objects gain much in influence – even if the spectrum is computed for quite small images patches. In RUSKONÉ et al. (1996) and MICHAELSEN & STILLA (2001) vehicle hypotheses extracted by a neural network classifier and a “spot detector”, respectively, are collinearly grouped into queues while isolated vehicle hypotheses are rejected. Since the queues are not further used to search for missed vehicles, this strategy implies that the vehicle detector delivers a highly oversegmented result, so that grouping is able to separate correct and wrong hypotheses. To the best of our knowledge an approach making use of global and local vehicle features in a *synergetic fashion* for detecting vehicles on downtown streets has not been presented so far.

### 1.3 Overview of the Approach

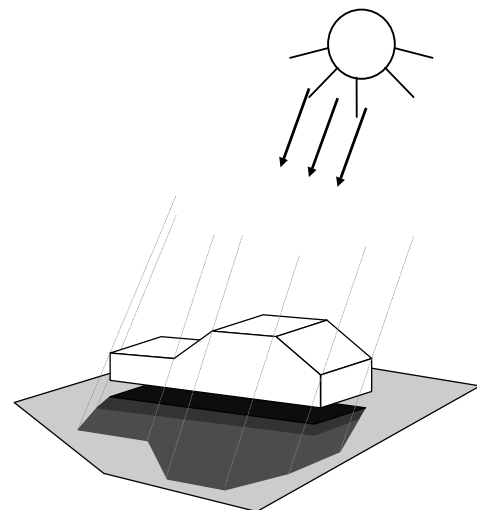
On one hand, our approach to vehicle detection relies on a detailed parametric vehicle model that captures the local features of a vehicle as their 3D-geometry, radiometry, and shadow region. On the other hand, we also incorporate a generic queue model, which comprises global features of vehicles as they are often part of longer queues. Such queues are described by features like symmetries across the queue direction and regular spacings of vehicles over a larger distance. By fusing vehicles found using the local and the global model, missing extractions can be recovered, which results in an extraction being more complete.

To make use of the supplementary properties of local as well as global features, following processing scheme has been implemented: First, the algorithms for vehicle detection (Sect. 2) and vehicle queue detection (Sect. 3) are running independently. Then, the results of both are fused and queues with enough support from the detailed vehicle detection are selected and further analyzed to recover vehicles missed during vehicle detection (Sect. 4). Other detected vehicles, yet not being part of a queue, are kept without deeper analysis.

## 2 Vehicles

### 2.1 Vehicle Model

Because of the apparent proximity of different objects in urban areas, objects impose strong influence on each other, e.g., trees may occlude cars partially, buildings cast shadows, materials like glasses or varnish may cause reflections or specularities on cars, etc. Since such influences mostly appear in form of local radiometric disturbances, a model emphasizing a structural description of a vehicle – as an explicit model – seems much more robust than one relying mainly on radiometry as the implicit model does (similar comments are also given in SUTENS et al. 1992). Another disadvantage of the implicit approach is, that the performance is completely dependent on the training data, while it cannot be assured that the training data capture changes in illumination, viewpoint, and possible influences caused by neighboring objects correctly. In contrast, explicit modeling better allows to focus on the fundamental and robust features of cars and, furthermore, it better allows to employ a hierarchy of levels of detail. However, because of the small size of vehicles, it is clear that a very detailed model

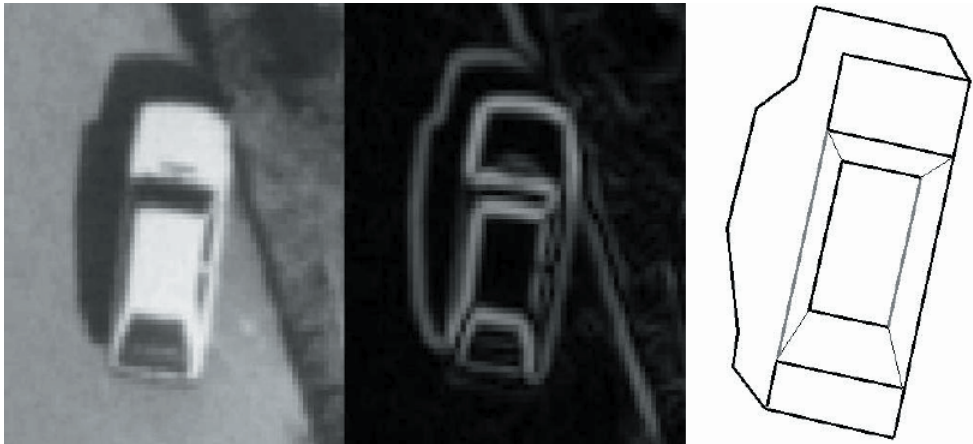


**Fig. 1:** Image of car (left) and example of model (right).

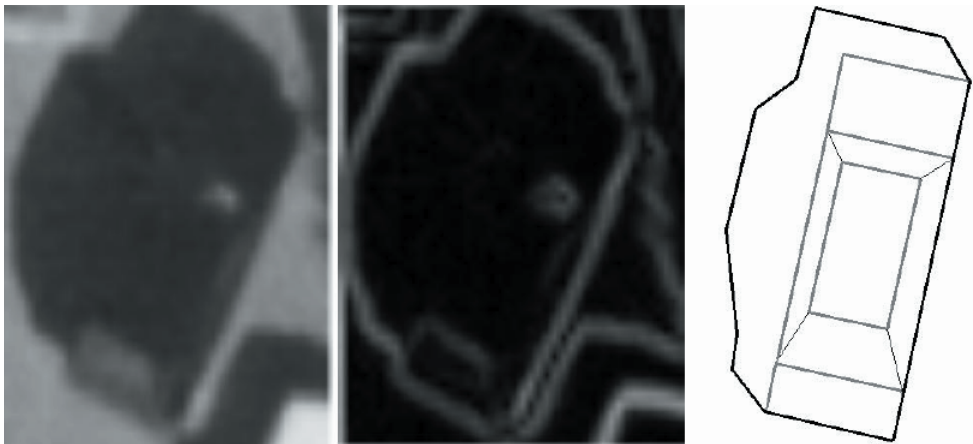
is necessary in order to avoid misdetections of objects that are fairly similar to vehicles.

In our approach, we use an explicit model that consists mainly of geometric features and also some radiometric properties. Geometrically, a car is modeled as 3D object by a wire-frame representation. Hence, an accurate computation of the car's shadow projection derived from date, daytime, and image orientation parameters is possible and added to the model. The model further contains substructures like windshield, roof, and hood (see Fig. 1). As radiometric feature, color constancy between hood color and roof color is included. Please note, that

color constancy is a relative measure and therefore independent of uniform illumination changes. The only absolute radiometric feature used is the darkness of the shadow region. The main difference of our vehicle model compared to many other approaches, however, is that the model is adaptive regarding the expected saliency of edge features. Consider, for example, the edge between a car's hood and windshield. In case of a bright car we expect a strong grayvalue edge since a windshield is usually very dark, while in case of a dark car the grayvalue edge may disappear completely. Also the viewing angles relative to the respective ve-

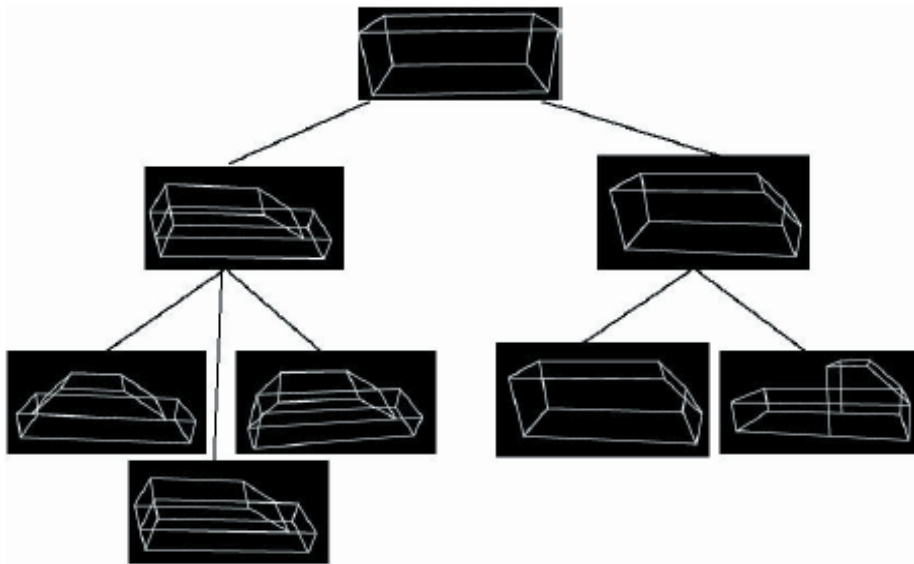


(a) Bright car (left), gradient magnitude image (middle), model adapted to bright car (right)



(b) Dark car (left), gradient magnitude image (middle), model adapted to dark car (right)

**Fig. 2:** Intensity-adaptive model for bright car (a) and dark car (b): Bold model edges = high expected saliency, gray = low, thin = no.



**Fig. 3:** Model hierarchy: Detailed models at lower levels can be derived from more generic models at higher levels.

Vehicle orientation affects the significance of certain edges (see also Fig. 2). To accommodate this, we model the expected saliency of a particular feature depending on vehicle color, vehicle orientation, view point (position in the image), and sun direction. View point and sun direction are derived from the internal and external image orientation parameters, and vehicle orientation and color are measured from the image. A disadvantage of the detailed description is, that a large number of models is needed to cover all types of vehicles. To overcome this problem a tree-like model hierarchy is helpful having a simple 3D-box model at its root from which all models of higher level of detail can be derived subsequently (see Fig. 3).

## 2.2 Vehicle Detection

Vehicle detection is carried out by a top-down matching algorithm. A comparison with the grouping scheme of HINZ & BAUMGARTNER (2001) that groups image features such as edges and homogeneous regions into car-like structures has shown that matching the complete geometric model top-down to the image is more robust. A reason for this

is that, in general, bottom-up grouping needs reliable features as seed hypotheses which are hardly given in the case of such small objects like cars (cf. SUETENS et al. 1992). Another disadvantage of grouping refers to the fact that we must constrain our detection algorithm to monocular images, since vehicles may move within the time of two exposures. Reconstructing a 3D-object from monocular images by grouping involves much more ambiguities than matching a model of the object to the image.

The steps of detection can be summarized as listed below:

- Extract edge pixels and compute gradient direction using Deriche’s filter.
- Project the geometric model including shadow region to edge pixel and align the model’s reference point and direction with the gradient direction. The projection matrices are derived from the image orientation parameters.
- Measure reference color/intensity at roof region.
- Adapt the expected saliency of the edge features depending on position, orientation, color, and sun direction.

- Measure features from the image: edge magnitude support of each model edge, edge direction support of each model edge, color constancy, darkness of shadow.
- Compute a matching score (a likelihood) by comparing measured values with expected values.
- Based on the likelihood, decide whether the car hypothesis is accepted or not. In the following, the evaluation measures involved are explained more in detail.

Fig. 4 illustrates the individual steps of matching.

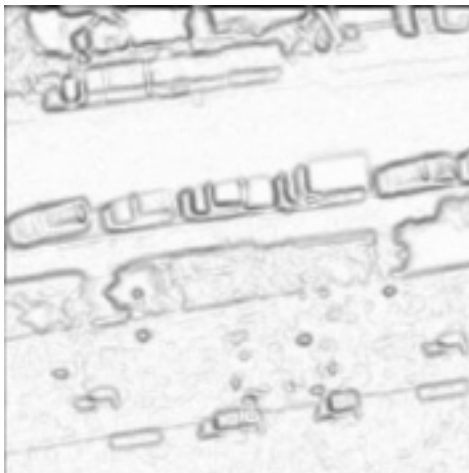
The match of an edge of the wire-frame model with the underlying image is calculated by comparing directional and positional features. Let  $\Delta\alpha$  be the orientation difference between the gradient  $\nabla I_i$  at a certain pixel  $i$  and the normal vector of the model edge and, furthermore, let  $d_i$  be the distance between this pixel and the model edge, then the score  $S_e$  [0; 1] for the match of a model edge  $e$  with  $n$  pixels involved is computed by



(a) Image Part



(b) Edge pixels with high gradient magnitude



(c) Gradient magnitude image



(d) Detected cars. White wireframe indicates car declared as "dark vehicle" and vice versa.

**Fig. 4:** Intermediate steps during matching: Image part (a), selected positions for matching (b), gradient magnitudes for computing matching score (c), results (d).

$$S_e = 1 - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |E_e - 0,5 \cdot (A_i + D_i)|$$

with

$$A_i = \frac{\pi - \Delta a_i}{\pi} \cdot \frac{\|\nabla I_i\|}{c_1},$$

$$D_i = \left(1 - \frac{d_i}{r}\right) \cdot \frac{\|\nabla I_i\|}{c_1},$$

and with  $E_e$  [0; 1] being the expected saliency of the model edge,  $r$  being the maximum buffer radius around the model edge, and  $c_1$  being a constant to normalize the gradient magnitude  $\|\nabla I_i\|$  into the range [0; 1]. Finally, the quality of the geometric match of the complete model is calculated as the length-weighted mean of all matching scores  $S_e$ . Furthermore, darkness and homogeneity  $M_s$  of a shadow region  $s$  are evaluated by

$$M_s = \sqrt{\left(1 - \frac{\mu_s}{c_2}\right) \cdot \left(1 - \frac{\sigma_s}{c_3}\right)},$$

with  $\mu_s$  and  $\sigma_s$  being mean and standard deviation of an image region and  $c_2, c_3$  being normalization constants.

To speed up runtime of matching, a number of enhancements and pruning steps have been employed. The most important ones are:

- To avoid redundant computations for projecting models into image space, a database containing all principal (projected) 2D models is created beforehand which is accessed via indices during detection. Since image scale and sun direction are approximately constant for a given scene, the only free parameters are model orientation and  $x, y$  position in the image. A reasonable discretization for these variables is derived automatically from image scale and average vehicle size.
- The model is projected only to those positions where edge magnitude has passed a local non-maximum and noise suppression (Fig. 4b). Though, for calculating the matching score, all pixels are taken into account (Fig. 4c).

- The calculation of features is ordered in such a way, that implausible hypotheses appear yet after a few computations, thus allowing to abort matching immediately.

Fig. 4d shows the final result of vehicle detection using the local model.

### 3 Vehicle Queues

#### 3.1 Vehicle Queue Model

Due to the high geometric variability of vehicles, it can be hardly assured that the detailed model described above covers all types of vehicles. In some cases, also for a human observer, local features are insufficient to identify a vehicle without doubt (see, e. g. Fig. 2b). Only provided the contextual information that such a vehicle stands on a road or is part of a queue makes it clearly distinguishable from similar structures. For these reasons our queue model incorporates more generic and more global knowledge. Constraints of the detailed local model are relaxed and, in compensation for this, the global consistency of features is emphasized. Morespecifically, typical local geometric and radiometric symmetries of vehicles are exploited and, in combination with rough dimensions and spacings of vehicles, they are constrained to form an elongated structure of sufficient length and smoothness (see Fig. 5). In summary following features are used:

- Geometric and radiometric symmetry across queue direction.
- Short, orthogonally intersecting structures characterizing the typical “ladder-like” shape of a vehicle queue.
- Approximately constant width.
- Sufficient length.

#### 3.2 Vehicle Queue Detection

According to the model developed in the previous section, vehicle queue detection is based on searching for one-vehicle wide ribbons that are characterized by:

- Significant directional symmetries of grayvalue edges with symmetry maxima defining the queue’s center line.

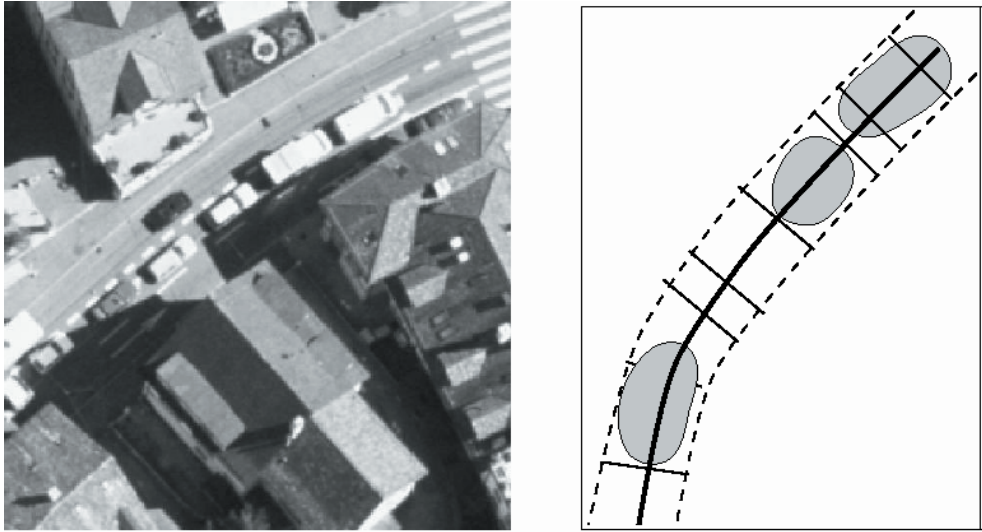


Fig. 5: Queue model: Image of typical queue (left), sketch of queue features used (right).

- Frequent intersections of short and perpendicularly oriented edges with homogeneous distribution along the center line.
- High parallel edge support at both sides of the center line.
- Sufficient length.

At first, a “directional symmetry map” is created. The directional symmetry  $S_{\varphi}(i, j)$  of a pixel at position  $i, j$  is calculated using a rotating window with a local co-ordinate system  $u_{\varphi}, v_{\varphi}$  of dimensions  $2m + 1$  (vehicle length) and  $2n + 1$  (vehicle width). For each orientation  $\varphi$  of the window, the average symmetry of  $2m + 1$  cross sections of the gradient magnitude image is computed and, thereafter, the orientation  $\varphi'$  yielding maximum symmetry is selected, i. e.:

$$S_{\varphi'}(i, j) = \max_{\varphi=0 \dots \pi} \left\{ 1 - \frac{1}{(2m + 1)(2n + 1) c_4} \sum_{u_{\varphi}=-m}^m \sum_{v_{\varphi}=1}^n (I_{u_{\varphi}, v_{\varphi}} - I_{u_{\varphi}, -v_{\varphi}})^2 \right\}$$

with  $c_4$  being a constant to normalize  $S_{\varphi'}$  into the range  $[0; 1]$ . Furthermore,  $n$  can be derived from the approximate vehicle width and  $m$  is related to the expected minimum length of a straight vehicle queue. Linking adjacent pixels of high symmetry and similar direction into contours yields candidates for

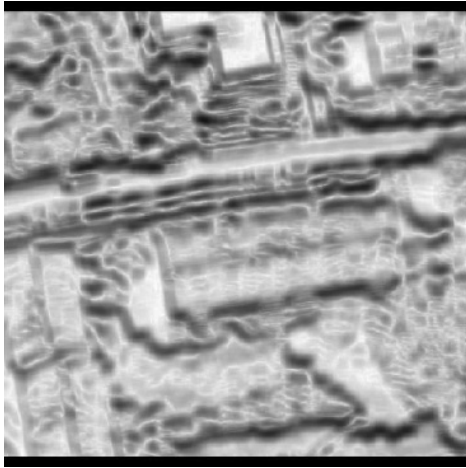
queue center lines. These candidates are further evaluated and selected by checking their length and straightness as well as the frequency and distribution of short and orthogonally intersecting edges, i. e., an arbitrary one-vehicle large section of the queue center line must contain at least two intersection points with these edges. The final criterion for selection refers to the edge support found in the gradient magnitude image on each side of the center line at a distance of roughly  $\pm n$ . Fig. 6 illustrates the individual steps of queue extraction. Please note that the symmetry map shown in Fig. 6a captures only one slice of the  $i, j, \varphi$ -space of all symmetries.

## 4 Recovering Missing Extractions

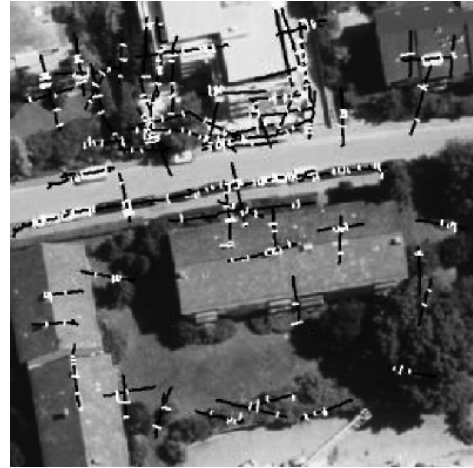
### 4.1 Fusion

The results of the two independently run algorithms are now fused to make further use of the supplementary properties of the ve-

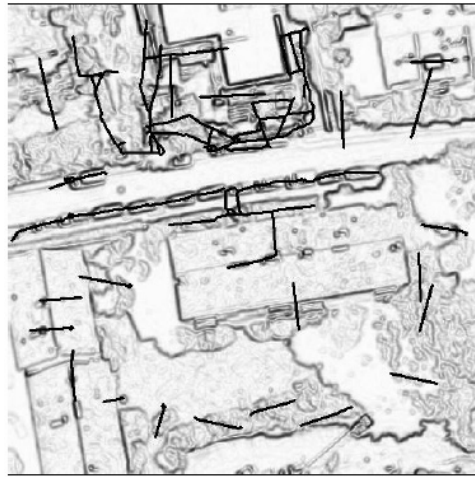




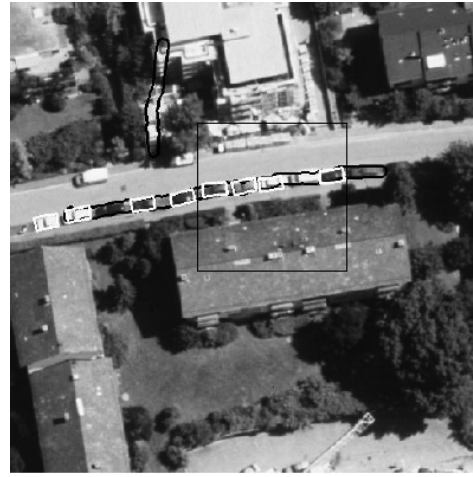
(a) Symmetry map for a certain orientation (vertical, i. e.  $\varphi = 90^\circ$ ), the brighter the higher the local symmetry



(b) Symmetry lines (SL, black) and intersecting edges (IE, white)



(c) Selected SL (according to distribution of IE)



(d) Final queues selected based on parallel edge support (see b); detection using local model is overlaid (white, cf. Sect. 2.2); regular box indicates iexample shown in Fig. 5

**Fig. 6:** Intermediate steps of queue detection: (a) Calculation of symmetries, (b) linking symmetry lines (SL) and extraction of short, orthogonally intersecting edges (IE), (c) selection of SL based on distribution of IE, (d) final selection based on gradients along SL, extraction with local model is overlaid.

hicle and vehicle queue model. To this end, the results of vehicle detection and queue detection are checked for mutual overlap first (see also Fig. 6d). In case of a successful test, the detected vehicle and the corresponding overlapping part of the queue's me-

dial axis are further investigated for collinearity. A queue is declared as verified if at least one part of it is covered by vehicles that pass both tests successfully. Unverified queues are eliminated from the result.

#### 4.2 Detection of Missed Vehicles

After fusion the remaining queues are analyzed for missing extractions. This analysis is only carried out for those portions of queues that are large enough to enclose a complete vehicle (see Fig. 7). Since, in many cases, such failures appear through vehicles with weak contrast, an attempt is made to recover these vehicles by extracting homogenous blobs using a regiongrowing algorithm. To get accepted as vehicle, such a blob must almost completely fall into the boundaries of the vehicle queue and the shape parameters of its bounding rectangle must roughly correspond to vehicle dimensions. In case of adjacent blobs, which would cause mutually overlapping vehicles, only the larger one is taken into account. Fig. 7b illustrates the result of this operation.

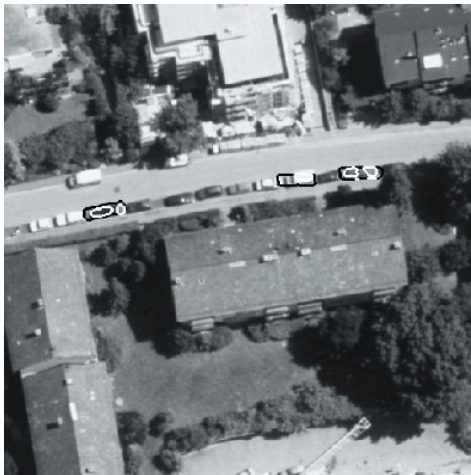
At a first glance, the “blob” model seems much weaker than the models incorporated for vehicles and vehicle queues. However, because a particular extracted blob must be part of a queue, and the queue must in addition be confirmed by some vehicles detected using a very stringent parametric model, the blob model implicitly incorporates

much more knowledge than the pure shape of a blob.

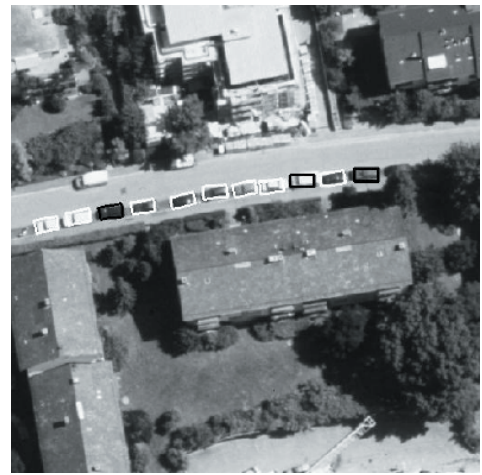
In the last step of processing, all vehicles detected using the parametric model but not being part of a queue are also added to the result without further verification. This seems justified since – as a consequence of the stringent local vehicle model employed – the false alarm rate of these results is usually very low.

### 5 Results and Evaluation

We tested our detection algorithm on a series of high resolution aerial images (ca. 15 cm ground resolution) of complex downtown areas. No pre-classification of regions of interest has been carried out. Tab. 1 summarizes the results. It shows that the vehicle detection achieves a high correctness of 87% but only a moderate completeness of 60%. This is a clear consequence of the stringent parametric model. In contrast, the (independently run) queue detection reaches a higher completeness of 83%, however, as can be anticipated from the weaker generic queue model, the correctness is below 50%. The effect of fusion and recovering missed ex-



(a) Queue sections possibly containing cars (black); blobs detected within these sections (white)



(b) Final result: vehicles detected using local model (white) and vehicles recovered through fusion with global model (black)

**Fig. 7:** Fusion of vehicle detection and queue detection.

**Tab. 1:** Evaluation of intermediate and final results.

|                             | <i>Correctness</i> | <i>Completeness</i> |
|-----------------------------|--------------------|---------------------|
| Vehicle detection (Sect. 2) | 87%                | 60%                 |
| Queue detection (Sect. 3)   | 45%                | 83%                 |
| Fusion (Sect. 4)            | 85%                | 79%                 |

tractions is depicted in the last row of Tab. 1. Now the completeness jumps up from 60% to 79% while the correctness is almost the same as for the vehicle detection (85%).

Some results are illustrated in Figs. 7, 8, and 9. They show that nearly all passenger cars have been detected while the false alarm rate is acceptably low. Also some larger vehicles like vans or small trucks whose geometry deviates from the local model too much have been recovered thanks to the integration of the global queue model. However, such vehicles have been missed throughout all examples whenever they are not part of a queue. This kind of problem could for instance be solved when additional contextual knowledge about roads is avail-

able a priori or simultaneously extracted from the image. Failures occur also in regions where the complete road is darkened by building shadows. Similar to the previous case, this could be overcome by pre-classifying shadow regions, so that the vehicle model can be adapted accordingly. Further improvements, mainly regarding the vehicle detection scheme, include the optional incorporation of true-color features and the use of a model hierarchy and/or geometrically flexible models similar to OLSON et al. (1996) and DUBUISSON-JOLLY et al. (1996). The use of multi-view imagery to separate moving from parking vehicles and to estimate vehicle velocity would be another avenue of research.

## References

- BURLINA, P., CHELLAPPA, R. & LIN, C., 1997: A Spectral Attentional Mechanism Tuned to Object Configurations – IEEE Transactions on Image Processing 6: 1117–1128.
- BURLINA, P., CHELLAPPA, R., LIN, C. & ZHANG, X., 1995: Context-Based Exploitation of Aerial Imagery – IEEE Workshop on Context-based Vision.
- DUBUISSON-JOLLY, M.-P., LAKSHMANAN, S. & JAIN, A., 1996: Vehicle Segmentation and Clas-



(a) Vehicle detection (white), queue, and blob detection (black)



(b) Vehicles derived from blobs (black)

**Fig. 8:** Example of fusion (white and black boxes in b): Note the successfully recovered vehicles in b) but also the missed vehicles in the central part of the image (due to specularities on cars) and the incorrect extraction in the upper part (due to blob on tree, see a).



(a)



(b)



(c)



(d)

**Fig. 9:** More results of vehicle detection (queue detection had no influence here): White wire-frame = Vehicles declared as dark during matching and vice-versa. Note the high correctness except for the difficult area shown in d). Reasons for missing extractions – mostly isolated vehicles – are weak contrast, specularities, occlusions, and unmodeled vehicle geometry.

sification Using Deformable Templates – IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence **18** (3): 293–308.

HAAG, M. & NAGEL, H.-H., 1999: Combination of Edge Element and Optical Flow Estimates for 3D-Model-Based Vehicle Tracking in Traffic Sequences – International Journal of Computer Vision **35** (3): 295–319.

HINZ, S. & BAUMGARTNER, A., 2001: Vehicle Detection in Aerial Images Using Generic Fea-

tures, Grouping, and Context – Pattern Recognition (DAGM 2001), Lecture Notes on Computer Science 2191, Springer-Verlag: 45–52.

LIU, G., 2000: Automatic Target Recognition Using Location Uncertainty. – PhD thesis, University of Washington, Seattle, WA.

LIU, G., GONG, L. & HARALICK, R., 1999: Vehicle Detection in Aerial Imagery and Performance Evaluation. – ISL-Technical Report, Intelligent

- Systems Laboratory, University of Washington, Seattle, WA.
- MICHAELSEN, E. & STILLA, U., 2000: Ansichtenbasierte Erkennung von Fahrzeugen. – Mustererkennung (DAGM 2000), Informatik aktuell, Springer-Verlag, Berlin: 245–252.
- MICHAELSEN, E. & STILLA, U., 2001: Estimating Urban Activity on High-Resolution Thermal Image Sequences Aided by Large Scale Vector Maps. – IEEE/ISPRS joint Workshop on Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas.
- MOON, H., CHELLAPPA, R. & ROSENFELD, A., 2002: Performance Analysis of a Simple Vehicle Detection Algorithm. – Image and Vision Computing **20** (1): 1–13.
- OLSON, C., HUTTENLOCHER, D. & DORIA, D., 1996: Recognition by Matching With Edge Location and Orientation. – Image Understanding Workshop '96, Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, CA.
- PAPAGEORGIOU, C. & POGGIO, T., 2000: A trainable system for object detection. – International Journal of Computer Vision **38** (1): 15–33.
- RAJAGOPALAN, A., BURLINA, P. & CHELLAPPA, R., 1999: Higher-order statistical learning for vehicle detection in images. – International Conference on Computer Vision.
- RUSKONÉ, R., GUIGES, L., AIRAULT, S. & JAMET, O., 1996: Vehicle Detection on Aerial Images: A Structural Approach. – 13th International Conference on Pattern Recognition.
- SCHNEIDERMAN, H. & KANADE, T., 2000: A Statistical Method for 3D Object Detection Applied to Faces and Cars. – Computer Vision and Pattern Recognition.
- SUETENS, P., FUA, P. & HANSON, A., 1992: Computational strategies for object recognition. – ACM Computing Surveys **24** (1): 5–60.
- TAN, T., SULLIVAN, G. & BAKER, K., 1998: Model-Based Localisation and Recognition of Road Vehicles – International Journal of Computer Vision **27** (1): 5–25.
- ZHAO, T. & NEVATIA, R., 2001: Car detection in low resolution aerial image. – International Conference on Computer Vision.
- Anschrift des Verfassers:  
Dr.-Ing. STEFAN HINZ  
Lehrstuhl für Methodik der Fernerkundung  
Technische Universität München  
Arcisstr. 21, D-80333 München  
e-mail: Stefan.Hinz@bv.tum.de  
URL: www.Road-Extraction.de  
Tel: 089-289 23 880, Fax: 089-280 9573
- Manuskript eingereicht: Oktober 2003  
Angenommen: November 2003



## A Method for Sequential Thinning of Digital Raster Terrain Models

OLGA WÄLDER & MANFRED F. BUCHROITHNER, Dresden

**Keywords:** digital raster terrain models, DTM, mathematical method for sequential thinning of DTM, wavelet concept

**Zusammenfassung:** *Ein Verfahren zur sequentiellen Ausdünnung von digitalen Raster Terrain Modellen.* Ein auf Wavelet basierendes Ansätze beruhendes sequentielles Ausdünnungsverfahren sowie die Beschreibung durch approximierende Funktionen für digitale Raster-Punkt-Geländemodelle wird vorgestellt. Hauptziel ist es, die Struktur des ursprünglichen DGM für weitere Anwendungen bei möglichst geringem Speicheraufwand beizubehalten. Die Qualität dieses sequentiellen Verfahrens kann schrittweise kontrolliert werden. Als Ergebnis dieser Ausdünnung bzw. dieser funktionalen Geländeapproximation wird eine spezielle „Wellen-Struktur“ für das reale Georelief erzeugt. Aufbau von Makro- bis Mikrostrukturen des Georeliefs können iterativ verfolgt werden. Das Verfahren wird anhand zweier digitaler Geländemodelle von Testgebieten in den österreichischen Alpen demonstriert. Weitere Möglichkeiten zur Verfeinerung und Verallgemeinerung dieses Ansatzes werden diskutiert.

**Summary:** A sequential method for the thinning and the description of digital raster terrain models based on wavelet concepts by means of approximating functions is proposed. It aims at the optimum maintenance of the original DTM structure together with a maximum reduction of the memory resources. The sequential thinning quality can be controlled stepwise. As a result of this procedure a special “wave-structure” of the real geo-relief is obtained. The composition of macro- to microstructure of the geo-relief can be followed in an iterative way. The method is demonstrated using the DTMs of two test areas in the Austrian Alps. Further possibilities for the generalization and refinement of this approach are discussed.

---

### 1 Motivation and Background

The contributions of the Dresden University of Technology to the scientific programme of the Mars Express Mission (MEX) in 2003/2004 focuses on the development and application of methods and algorithms for the generation of truly three-dimensional hard-copy visualisations based on imagery acquired by the HRSC Mars camera developed at the German Aerospace Center (DLR).

This camera permits improved relief recognition and representation of morphological forms on the Mars surface. Thus, the developed methods and algorithms for the thinning of the relief data need to be

tested using simulated as well as real georelief data, see WÄLDER & BUCHROITHNER (2003).

The generation of an optimized 3D grid based on 3D points from any, not necessarily ordered or complete, data set was presented in a previous publication WÄLDER & BUCHROITHNER (2003). As a result of this first step a thinned grid-shaped DGM is obtained. The following step, the thinning and functional approximation of this grid, is described in the present article. This second step can be considered as an independent procedure or as a continuation of the thinning processing described in the above mentioned publication.

The scientific, exciting discussion between LENK and BRIESE & KRAUS (LENK 2003a, b, BRIESE & KRAUS 2003a, b) underlines the topicality of the problem of data simplifications. Obviously, different applications require various assumptions. The present use of wavelets for memory reduction and DTM thinning has been triggered by the work of MEIER (2003). He published some statistical results in the context of compression procedures on the basis of the Wavelet Theory.

In particular, a functional relief approximation allows the sparse data management for their further analysis (deformation tensor determination, for example) especially for anisotropic cases. Such determinations require differentiations of higher order of the surface equations. Here, the algebraic instead of the numerical differentiation could be used, because the numerical methods show the well-known boundary-effects. So far, the curvature analysis is not considered in our approach.

In contrast to classical wavelet-transformations there are no numerical difficulties caused through the inversion of large matrices. Furthermore, the transition from very fine to coarser approximating structures is possible without any computational effort. The sequentially calculated and locally adapted surface equation is more accurate than global approximations with comparable number of coefficients.

## 2 Modelling

A grid-formed DTM can be defined by  $(\underline{X}, \underline{Y}, \underline{Z})$  with the matrices  $m \times n$

$$\underline{X} = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 & \dots & x_n \\ x_1 & x_2 & \dots & x_n \\ \dots & & & \\ x_1 & x_2 & \dots & x_n \end{bmatrix}, \underline{Y} = \begin{bmatrix} y_1 & y_1 & \dots & y_1 \\ y_2 & y_2 & \dots & y_2 \\ \dots & & & \\ y_m & y_m & \dots & y_m \end{bmatrix}$$

and

$$\underline{Z} = \begin{bmatrix} z(x_1, y_1) & z(x_2, y_1) & \dots & z(x_n, y_1) \\ z(x_1, y_2) & z(x_2, y_2) & \dots & z(x_n, y_2) \\ \dots & & & \\ z(x_1, y_m) & z(x_2, y_m) & \dots & z(x_n, y_m) \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Out of this data set a new quadratic grid with the number  $N$  of rows and columns can be chosen based on  $m$  rows and  $n$  columns from (1) as follows:

$$N = 2^k + 1 \quad \text{with} \quad k = \log_2 \{ \min(n, m) \} \quad (2)$$

Without restriction of general validity, only for the sake of simplification of the presentation, it will be further assumed, that

$$\begin{aligned} x_i &\in [0, 1] \quad \text{for} \quad i = 1, \dots, N \quad \text{and} \\ y_j &\in [0, 1] \quad \text{for} \quad j = 1, \dots, N: \\ x_i &= \frac{i-1}{2^k}, \quad y_j = \frac{j-1}{2^k}, \quad z(x_i, y_j) = \underline{Z}(j, i). \end{aligned} \quad (3)$$

For the generalised cases the re-scaling or retransformation  $(x_{gen}, y_{gen})$  of  $(x, y)$ -coordinates is given by:

$$\begin{aligned} x_{(0,1)} &= \frac{x_{gen} - \min(x)}{\max(x) - \min(x)}, \\ y_{(0,1)} &= \frac{y_{gen} - \min(y)}{\max(y) - \min(y)}, \\ x_{gen} &= (\max(x) - \min(x)) \cdot x_{(0,1)} + \min(x), \\ y_{gen} &= (\max(y) - \min(y)) \cdot y_{(0,1)} + \min(y). \end{aligned} \quad (4)$$

Finally, it is assumed, that the unknown function  $z = z(x, y) \quad \forall (x, y) \in R^2$  allows the following approximation  $z(x, y) = P_k(x, y)$ ,  $k = 1, 2, \dots$  (c.f. MEIER 2003 and FARIN 1994). Its values are only known at the points  $(x_i, y_j)$ ,  $i, j = 1, \dots, N$ .

$$P_1(x, y) = a_0 + a_1 \sin(\pi x/2) + b_1 \sin(\pi y/2) + c_1 \sin(\pi x/2) \sin(\pi y/2),$$

$$P_2(x, y) = P_1(x, y) + a_2^{x,y} \sin(\pi x) + b_2^{x,y} \sin(\pi y) + c_2^{x,y} \sin(\pi x) \sin(\pi y),$$

$$P_3(x, y) = P_2(x, y) + a_3^{x,y} \sin(2\pi x) + b_3^{x,y} \sin(2\pi y) + c_3^{x,y} \sin(2\pi x) \sin(2\pi y),$$



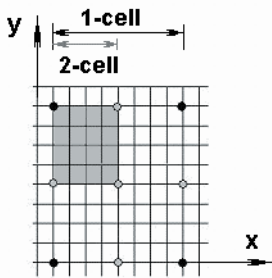
$$\begin{aligned}
 P_k(x, y) = & a_0 + a_1 \sin(\pi x/2) + b_1 \sin(\pi y/2) \\
 & + c_1 \sin(\pi x/2) \sin(\pi y/2) \\
 & + a_2^{x,y} \sin(\pi x) + b_2^{x,y} \sin(\pi y) \\
 & + c_2^{x,y} \sin(\pi x) \sin(\pi y) \\
 & + a_3^{x,y} \sin(2\pi x) + b_3^{x,y} \sin(2\pi y) \\
 & + c_3^{x,y} \sin(2\pi x) \sin(2\pi y) + \dots \\
 & + a_k^{x,y} \sin(2^{k-2}\pi x) \\
 & + b_k^{x,y} \sin(2^{k-2}\pi y) \\
 & + c_k^{x,y} \sin(2^{k-2}\pi x) \sin(2^{k-2}\pi y),
 \end{aligned}$$

$k = 4, 5, \dots$  (5)

The coefficients  $a, b, c$  are individual constants for each cell. Because of this, they are marked in (5) with the top indices  $x, y$ . This means, that they can vary for different cells. In the following, the calculation and the quality measure of the  $k^{\text{th}}$  approximation are discussed.

At first, the expression (5) will be in more detail explained by Fig. 1. For  $k = 1$  there are four corner-points of the 1-cell, which are used for the calculation. So, the coefficients  $a_0, a_1, b_1, c_1$  can be obtained according to (6). Obviously, the other coefficients in (5) are in this case multiplied by zero.

$$\begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ b_1 \\ c_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} z(0, 0) \\ z(1, 0) \\ z(0, 1) \\ z(1, 1) \end{bmatrix}. \tag{6}$$



**Fig. 1:** Grid modelling. The four black points are chosen by the first approximation step (1-cell). The five additional grey points go into the second approximation step (2-cell).

The precision of the 1-approximation can be estimated by (7):

$$G_1 = \frac{1}{N^2} \sum_{i,j=1}^N |z(x_i, y_j) - P_1(x_i, y_j)| \tag{7}$$

In a next step, the 1-cell will be divided into four parts. These parts are called 2-cells. For each 2-cell the new coefficients  $a_2, b_2, c_2$  are calculated. For example, for the left-top 2-cell with coordinates at its bottom left corner equalling to  $(0, 0.5)$  this leads to:

$$\begin{bmatrix} a_2^{0,0.5} \\ b_2^{0,0.5} \\ c_2^{0,0.5} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} z(0, 0.5) - P_1(0, 0.5) \\ z(0.5, 0.5) - P_1(0.5, 0.5) \\ z(0.5, 1) - P_1(0.5, 0) \end{bmatrix}. \tag{8}$$

For the other three 2-cells the calculation is the same. It shall just be mentioned once again, that all coefficients  $a_j, b_j, c_j$  for  $j > 2$  from (5) are multiplied by zero.

The quality of the second approximation step can be estimated according to (7):

$$G_2 = \frac{1}{N^2} \sum_{i,j=1}^N |z(x_i, y_j) - P_2(x_i, y_j)| \tag{9}$$

This method can be continued until the a priori defined accuracy will be achieved. Thus, the  $l^{\text{th}}$  approximation step for the left-top l-cell reads:

$$\begin{bmatrix} a_l^{0,1-\frac{1}{2^{l-1}}} \\ b_l^{0,1-\frac{1}{2^{l-1}}} \\ c_l^{0,1-\frac{1}{2^{l-1}}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} z\left(0, 1 - \frac{1}{2^{l-1}}\right) - P_{l-1}\left(0, 1 - \frac{1}{2^{l-1}}\right) \\ z\left(\frac{1}{2^{l-1}}, 1 - \frac{1}{2^{l-1}}\right) - P_{l-1}\left(\frac{1}{2^{l-1}}, 1 - \frac{1}{2^{l-1}}\right) \\ z\left(\frac{1}{2^{l-1}}, 1\right) - P_{l-1}\left(\frac{1}{2^{l-1}}, 1\right) \end{bmatrix}$$

and

$$G_l = \frac{1}{N^2} \sum_{i,j=1}^N |z(x_i, y_j) - P_l(x_i, y_j)|. \tag{10}$$

Hence, the approximation used here is a sequential, continuous and differentiable spline approximation by sine-like wavelets.

### 3 Case Study Austrian Alps (Granatspitz Massif)

In 1999 a large area in the Austrian Hohen Tauern, southwest of Zell am See, was remotely sensed by the HMRSC camera developed by the German Aerospace Center (DLR). This high-alpine area reaches from approx. 800 m to 3150 m a.s.l. It is characterized by a richness in geomorphological forms and therefore perfectly suitable as a test area.

In order to illustrate the method described above, a grid DTM with approx.  $100 \times 100$  points is thinned into a  $5 \times 5$  grid by three

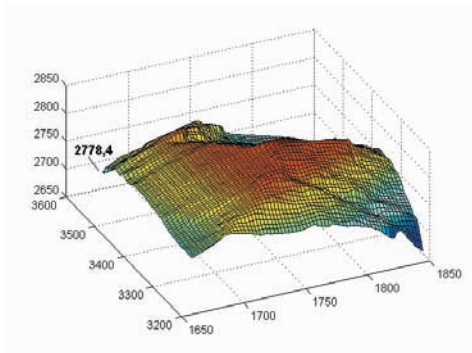


Fig. 2a: Original raster DTM of approx. 10.000 points.

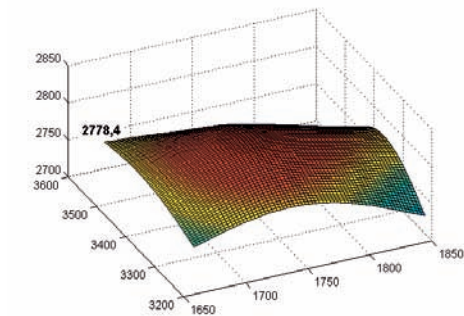


Fig. 2b: Second approximation step: out of 10.000 points only 9 points and  $4 + 4 \times 3 = 16$  coefficients remain. Here sine-like wavelets were used.

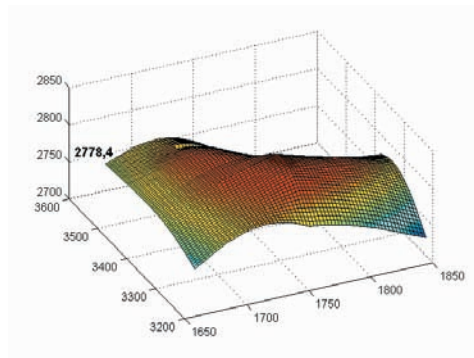


Fig. 2c: Third approximation step: out of 10.000 points only 25 points and  $4 + 4 \times 3 + 16 \times 3 = 64$  coefficients remain. Here sine-like wavelets were used.

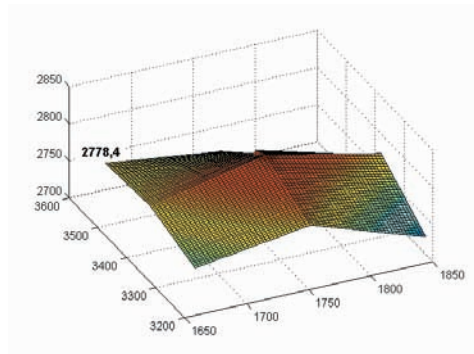


Fig. 2d: Second approximation step: out of 10.000 points only 9 points and  $4 + 4 \times 3 = 16$  coefficients remain. Here zigzag-shaped wavelets were used.

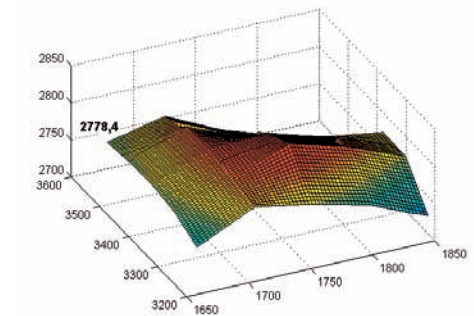


Fig. 2e: Third approximation step: out of 10.000 points only 25 points and  $4 + 4 \times 3 + 16 \times 3 = 64$  coefficients remain. Here zigzag-shaped wavelets were used.

approximation steps (see Fig. 2a–c). The accuracies thereby obtained are by using *sine-like* wavelets (in [m]):

$$\begin{aligned} G_1 &= 45.94, \\ G_2 &= 10.28, \\ G_3 &= 3.08. \end{aligned} \quad (11)$$

The accuracies are obtained by using *zigzag-shaped* wavelets (in [m]) for the same data set, Fig. 2d–e:

$$\begin{aligned} G_1 &= 39.20, \\ G_2 &= 13.70, \\ G_3 &= 3.63. \end{aligned} \quad (11a)$$

Generally, the first step is never sufficient. The second step results in a  $3 \times 3$  grid, which, on the basis of 9 points (of 10.000 in the original DTM!), respects the macro-structure of the relief. Starting with the  $5 \times 5$  grid, this structure is continued to be further refined. So, we need to save the number of steps equal 3 here, four original  $x, y$ -coordinates of edge grid points and  $1 \times 4 + 4 \times 3 + 16 \times 3 = 64$  coefficients instead of 10.000  $z$ -coordinates +  $4 \times 2$   $x, y$ -coordinates of edge grid points + length  $N$  of the original quadratic grid. Less than 0.73% of the original data remain after thinning.

It has to be noted that not only sinusoidal wavelets can be used in expression (5). Fig. 3a presents another alpine test area with approx. 60.000 points. Fig. 3b shows the 4-step spline-approximation with 81 points and with *sine-like* wavelets. The accuracies thereby obtained are (in [m]):

$$\begin{aligned} G_1 &= 20.24, \\ G_2 &= 12.37, \\ G_3 &= 8.50, \\ G_4 &= 5.39. \end{aligned} \quad (12)$$

Here, less than 0.45% of the original raster data are remained after thinning (number of steps, four edge grid points and  $1 \times 4 + 4 \times 3 + 16 \times 3 + 64 \times 3 = 256$  coefficients instead of 60.000  $z$ -coordinates +  $4 \times 2$   $x, y$ -coordinates of edge grid points + length  $N$  of the original quadratic grid). Fig. 3c presents the 4-step approximation with the

same number of points and with *zigzag-shaped* wavelets.

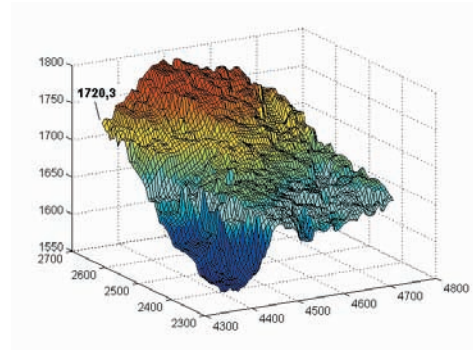


Fig. 3a: Original raster DTM of ca. 60.000 points.

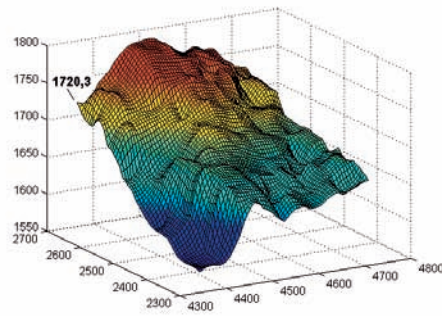


Fig. 3b: 4<sup>th</sup> approximation step: first, the grid structure is maintained. Out of ca. 60.000 points only 81 and 256 coefficients remain. Here sine-like wavelets were used.

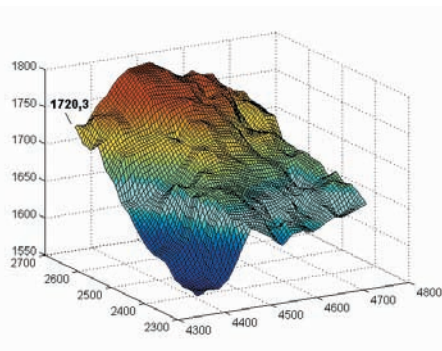


Fig. 3c: 4<sup>th</sup> approximation step: first, the grid structure is maintained. Out of ca. 60.000 points only 81 and 256 coefficients remain. Here the zigzag-shaped wavelets were used.

The corresponding accuracies obtained for Fig. 3a are (in [m]):

$$\begin{aligned} G_1 &= 25.42, \\ G_2 &= 13.64, \\ G_3 &= 8.33, \\ G_4 &= 5.24. \end{aligned} \quad (12a)$$

The approximation in Fig. 3c is less smoothed than the one in Fig. 3b. Thus, it seems to be more suitable for a pronounced relief. Moreover, any combination of both of these two approximations is possible. The comparison of (12) and (12a) allows to set the hypothesis, that a certain approximations level (or step) could exist, which depends on geomorphologic structures of relief and presents a limit for the transition from sine-like to zigzag wavelets. It can be seen from (12), that the sine-like wavelets are more suitable as zigzag here. Until the 3<sup>th</sup> step the accuracies by using zigzag-shaped wavelets are lower than they by using sine-like wavelets.

#### 4 Outlook

The presented approach has been implemented in our Windows-based in-house software tool DEFAN. It needs, however, to be both generalized and refined. In a first step, additional information in the form of breaklines will be considered. Further, the performance of combined, sine-like and zigzag-shaped wavelet models will to be investigated. Their approximation accuracy will help to answer the question to what extent the resulting macro- and micro-structures correspond to their real-world geomorphological equivalents. In this respect, the role of relief-energy presentations in determining the optimal modelling approach also needs to be exploited.

#### Acknowledgements

The present article has been prepared within the scope of the Mars Express Project (MEX) with financial support of the Ger-

man Aerospace Center (DLR) and the BMBF at the Institute for Cartography of the Dresden University of Technology. We wish to thank two anonymous reviewers for their constructive comments which significantly helped to improve the quality of this paper.

#### References

- Briese, Ch. & Kraus, K., 2003a: Datenreduktion dichter Laser-Geländemodelle. – *ZfV*, 2003/5: 312–317.
- BRIESE, CH. & KRAUS, K., 2003b: Stellungnahme zu „2.5D-Diskontinuitäten in der Geländemodellierung und spezielle Aspekte bei Delaunay-Triangulationen“. – *ZfV*, 2003/6: 366.
- FARIN, G., 1994: Kurven und Flächen in Computer Aided Geometric Design: Eine praktische Einführung. – Vieweg Publishers, Braunschweig/Wiesbaden.
- LENK, U., 2003a: Triangulation und Adaptive Triangulationen – ein Verfahren zur Ausdünnung unregelmäßig verteilter Massenpunkte in der Geländemodellierung. – *ZfV*, 2003/1:47–56.
- LENK, U., 2003b: 2.5D-Diskontinuitäten in der Geländemodellierung und spezielle Aspekte bei Delaunay-Triangulationen. – *ZfV*, 2003/6: 357–365.
- MEIER, S., 2003: Zur K-Frage: Kompressionsraten der schnellen Wavelettransformation aus statistischer Sicht. – *ZfV*, Sonderdruck, 2003/1: 31–40.
- WÄLDER, O. & BUCHROITHNER, M. F., 2003: Eine Anwendung von Spline-Verfahren zur DTM-Ausdünnung. – *PFG*, 2003 (2): 99–104.

Addresses of the authors:

Dr. rer. nat. OLGA WÄLDER,  
Prof. Dr. phil. habil. MANFRED BUCHROITHNER  
Institute for Cartography  
Dresden University of Technology  
Mommensenstrasse 13, D-01062 Dresden  
Tel.: 0351-4633-6200 or 0351-4633-4809  
Fax: 0351-4633-7028  
e-mail-Adressen:  
Olga.Waelder@mailbox.tu-dresden.de  
Manfred.Buchroithner@mailbox.tu-dresden.de

Manuskript eingereicht: November 2003  
Angenommen: Februar 2004

## Entwicklung von Maßen zur Charakterisierung und Bewertung der physischen und funktionalen Kompaktheit von Stadtregionen

NGUYEN XUAN THINH, Dresden

**Keywords:** urban form, physical & functional compactness, entropy measures, fractal dimension, variance measure, Dresden

**Zusammenfassung:** Im vorliegenden Aufsatz definiert der Autor zunächst den Begriff „räumliches Ordnungsgefüge“ für Stadtregionen bzw. Stadtlandschaften und seine wesentlichen Dimensionen. Die physischen und funktionalen Dimensionen prägen im entscheidenden Maße das Raummuster einer Stadtregion. Der Autor gibt eine kurze Diskussion über Zusammenhänge zwischen kompakter Stadt und nachhaltiger Entwicklung. Der Schwerpunkt des Beitrages liegt in der GIS-basierten Entwicklung von neuen Methoden zur Messung der physischen und funktionalen Kompaktheit: Varianzmaß, radial-fraktale Dimension und Entropiemaße. Die Anwendung der Maße zur Verfolgung der historischen Flächennutzungsänderung der Stadtregion Dresden liefert interessante Erkenntnisse über den Zusammenhang zwischen Raumstruktur und Prozessen.

**Summary:** *GIS-based Measuring of the physical and functional Compactness in City Regions.* At first, the author defines the concept of spatial structure of city regions and its essential dimensions. The physical and functional dimensions are central to the urban form of a city region. The author gives a brief discussion about the relationship between urban form and sustainable development. The main part of the contribution describes the GIS-based development of new measurements of the physical and functional compactness in city regions: variance measure, radial fractal dimension, and entropy measures. The application of the measurements to identify the changes of historical land-use patterns of the Dresden city region for the years 1880, 1900, 1940, 1953, 1968, 1986, and 1998 allows interesting insight into the relationship between urban form and processes.

---

### 1 Das räumliche Ordnungsgefüge einer Stadtlandschaft und seine Dimensionen

Städte sind komplexe Phänomene. Man kann sie über ihre Geschichte, Merkmale der Gegenwart, die Nutzungsstruktur und Realstruktur beschreiben, oder über statistische Daten, Unfälle und Verbrechen oder über Impressionen und die Darstellung von Erlebnissen und Schicksalen. Geographen und Stadtforscher zielen auf die Beschreibung und Ergründung der Stadtstruktur ab. In den klassischen Arbeiten über Stockholm von GEER 1923 und über Innsbruck von BOBEK 1928 (zitiert in HOFMEISTER 1996, S. 1)

wurde die Frage nach der Anordnung der Funktionen im Raum, ihrer Konzentration oder Streuung, ihrer Mischung oder Trennung innerhalb des Stadtgebietes behandelt. Der Ausdruck „Stadtstruktur“ ist im deutschen Schrifttum geläufig, im englischen wird aber der Begriff „urban form“ häufiger verwendet als „urban structure“. Ebenso wie der Begriff „Raumstruktur“ gehört Stadtstruktur zu den zentralen Begriffen in Raumforschung, Raumordnung und Raumplanung, die durch Nominaldefinitionen bestimmt sind. Für Stadtregionen oder Stadtlandschaften ist statt Stadtstruktur der Begriff „räumliches Ordnungsgefüge“ präziser und passender. Das räumliche Ord-

nungsgefüge wird verstanden als die Gesamtheit der räumlichen Konfiguration, Anordnung und Verteilung von Flächen unterschiedlicher Nutzungsarten. Seine wesentlichen Dimensionen sind:

- die physische Dimension (urban physics),
- die funktionale Dimension (urban biology),
- die ökonomische Dimension,
- die ökologische Dimension,
- die soziale Dimension,
- die historische Dimension (politische Geschichte, Ereignisse, lokale und regionale Stadtgeschichte),
- die kulturelle Dimension und
- die virtuelle Dimension.

Die physische Dimension entspricht den gebauten Strukturen (Gebäude, Straßen, Plätze, Leitungsnetze etc.), die funktionale der räumlichen Verteilung der Nutzungsfunktionen bzw. Grunddaseinsfunktionen (Wohnen, Arbeiten, Erholen, Verkehr, Kommunikation) und die virtuelle der Effizienz des Transportsystems und der Erreichbarkeit in Zeitaufwand zwischen Orten innerhalb der Stadtregion. Die demographische Dimension ist in den sozialen und funktionalen Dimensionen enthalten. Die Dimensionen stehen in einer wechselseitigen Abhängigkeit. Die Stadtstruktur bzw. das räumliche Ordnungsgefüge einer Stadtregion (spatial pattern) ist jedoch im Wesentlichen durch die physischen und funktionalen Dimensionen geprägt.

Weltweit wird gegenwärtig noch kontrovers diskutiert, welche Stadtstruktur eine nachhaltige Stadtentwicklung fördern würde und wie eine solche zu erreichen wäre. Man geht von der Haupthypothese aus, dass die Stadtstruktur die Nachhaltigkeit beeinflussen kann (WILLIAMS, BURTON & JENKS 2001, S. 1). Die Suche nach Stadtstrukturen, die eine ausgewogene Entwicklung der ökonomischen, ökologischen, sozialen und kulturellen Dimensionen ermöglichen, ist weltweit in vollem Gang. International gibt es zurzeit drei Hauptströmungen: die Verfechter der kompakten Stadt auf der einen (z. B. HILLMAN 1996), ihre Widersacher auf der anderen Seite (vgl. JENKS, BURTON & WIL-

LIAMS 1996, S. 12) und solche Autoren, die eine Kompromisslösung bevorzugen (weder extrem zentrale noch extrem dezentrale Entwicklung zwischen kompakt und unkompakt, z. B. BREHENY 1996).

Der Begriff „Kompakte Stadt“ taucht erstmalig 1982 im Vorentwurf des Strukturplans der Amsterdamer Stadtplanung auf. Seither wird das Leitbild der kompakten Stadt auf internationaler, nationaler und lokaler Ebene propagiert. Im Grünbuch der EG-Kommission zur städtischen Umwelt 1990 (BREHENY 1992, S. 143) wurde argumentiert, dass der Hauptvorteil der kompakten Stadt in ihrem Beitrag zur nachhaltigen Stadtentwicklung liegt. Zahlreiche Stadtentwicklungskonzepte der letzten Jahre zielen auf die Erhöhung der Kompaktheit der Städte (BEATLEY 2000, S. 29–75). Die kompakte Stadt könnte zu einem Leitbild der Stadtplanung und Stadtpolitik im 21. Jahrhundert werden (DEIMER 1998, S. 2). Mit den vier zentralen Zielelementen einer hohen Bebauungsdichte, hohen Durchmischung, guten Erschließung durch öffentlichen Personennahverkehr und Verbesserung von öffentlichen Räumen und Wohnumfeld sollen zukunftsbeständige Flächen-nutzungsstrukturen geschaffen werden. Der Münchener Stadtentwicklungsplan von 1996 brachte das Leitbild der Stadtentwicklung auf die knappe Formel „kompakt, urban, grün“. Das Leitbild der kompakten Stadt wird von Stadtforschern und -planern auch zunehmend in den Zusammenhang mit einer „Stadt der kurzen Wege“ gestellt. Der Autor unterscheidet zwischen physischer, funktionaler und virtueller Kompaktheit der Städte und Stadtregionen (drei Dimensionen der Kompaktheit).

Über das Leitbild der kompakten Stadt gibt es heftige Diskussion (BREHENY 1992, S. 142–156). Es muss gegen die planerisch kaum beeinflussbaren Rationalisierungsprozesse in allen Wirtschaftssektoren und gegen die funktionstrennende Logik des Bodenmarktes durchgesetzt werden. Es kollidiert mit den dominanten Wohnwünschen der Bevölkerungsmehrheit, die das ruhige Wohnen im Grünen vorzieht (compact city versus suburban quality of life). Die meisten

aktuellen bau- und planungsrechtlichen Rahmenbedingungen entstanden im Zeichen der Nutzungstrennung und stehen dadurch einer Umsetzung der kompakten Stadt entgegen. In einer weiteren Argumentation stehen kompakt gebaute Städte im Gegensatz zur Sicherung städtischer Grünflächen (compact city versus the green city), zur Entwicklung des ländlichen Raumes (compact city versus rural economic development), zur Nutzung von Wind- und Sonnenenergie (compact city versus renewable energy sources) und schränken die Chancen der Telekommunikationstechnologie (compact city versus telecommunication dispersal) ein. Gegen diese ablehnende Kritik gibt es zahlreiche wohlbegründete Argumente (GATZWEILER 1996, S. 131; HESSE 1999, S. 317–318; JESSEN 2000, S. 50). Beispielsweise ermöglichen innovative und umweltverträgliche Produktionstechnologien die Integration gewerblicher Nutzungen (emissionsarme Fabriken) in die Stadt, insbesondere auch auf Brach- und Konversionsflächen in zentraler Stadtlage. Des Weiteren gehen aus dem Wandel zur Dienstleistungs- und Informationsgesellschaft wohn- und stadtverträgliche Arbeitsplätze hervor, die eine Erhöhung der städtebaulichen Dichte und Funktionsmischung erwarten lassen. Der sich vollziehende sozial-demografische Wandel lässt eine städtische Lebensweise wahrscheinlich werden, die die Befriedigung der Wohn-, Bildungs-, Versorgungsbedürfnisse in einem kompakten räumlichen Ordnungsgefüge präferiert.

Die Vorzüge einer physisch kompakten Stadt sind unumstritten, auch wenn die empirischen Befunde über die Reduktion des Verkehrs durch kompakte Städte noch begrenzt aussagekräftig sind. Ohne Zweifel dämpfen kompakt gebaute Siedlungsstrukturen die Flächeninanspruchnahme, reduzieren die innerstädtischen Distanzen, schaffen kurze Wege und damit Einsparpotenzial im Verkehr. Außerdem bieten diese Strukturen Voraussetzungen für bessere Anschlussmöglichkeiten und effektive Nutzung sowie Auslastung von Infrastruktureinrichtungen. Kompakt gebaute Städte, in denen Entfernungen zwischen Wohnen, Arbeit,

Erholen, Versorgung, Bildung und Kommunikation leicht und weitestgehend zu Fuß oder mit dem Rad zu überwinden sind, bringen den Stadtbewohnern mehr Lebensqualität und werden sozialverträglicher (vgl. STETE 1995, S. 42). Daher haben Stadtforscher in der letzten Zeit verstärkt versucht, die „Kompaktheit“ von Städten zu messen und zu untersuchen. Allerdings wird der Begriff „Kompaktheit“ bisher weitgehend unscharf oder qualitativ definiert. Arbeiten zur Messung der funktionalen Kompaktheit von Stadtregionen sind noch selten.

Im Forschungsschwerpunkt „Ressourcenschonende Flächennutzung“ haben sich Wissenschaftler am Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e. V. (IÖR) der Messung und Bewertung der Kompaktheit von Stadtregionen seit vielen Jahren angenommen (EINIG, GÖSSEL & SIEDENTOP 1997, THINH 1999 und 2002). Der Autor beschreibt im zweiten Kapitel die Entwicklung von neuen Methoden zur Messung verschiedener Aspekte der Kompaktheit als wesentliche Ergänzung zum methodischen Beitrag, der vom Autor im Rahmen eines interdisziplinären Projektes (siehe ARLT et al. 2001) geleistet und bereits im Heft 6/2002 der Zeitschrift PFG publiziert wurde (THINH 2002). Mit diesen Maßen kann man den Zustand der Siedlungsentwicklung leicht fassbar beschreiben. Der Verständlichkeit halber sollen die in THINH (2002) beschriebenen Maße (Zerklüftungsgrad, Umfang-Fläche-fragale Dimension und Gravitationsmaß) kurz dargestellt werden.

## 2 Charakterisierung und Messung des räumlichen Ordnungsgefüges von Stadtlandschaften

### 2.1 Methoden zur Messung der physischen Kompaktheit

#### Zerklüftungsgrad (The jaggedness degree)

Seit Jahrzehnten ist die Form von Polygonen (Patches) Gegenstand der Forschungen von Geographen und Landschaftsökologen. Eine Sammlung von Maßen für die

Form von Landschaftselementen wurde z. B. von WALZ (2001, S. 20) gegeben. Betrachtet man nur die Siedlungsfläche einer Stadtregion, so besteht das Muster ihrer Flächennutzungsstruktur aus einer Menge von Polygonen unterschiedlicher Formen. Ziel ist es, die Kompaktheit für das räumliche Gefüge dieser Polygone zu messen (nicht die Form oder Kompaktheit der einzelnen Polygone). Durch den Vergleich mit dem Idealfall, wenn alle genannten Polygone in einem einzigen äquivalenten Kreis vereinigt wären, wurde der Zerklüftungsgrad definiert und abgeleitet (siehe THINH 2002, S. 412–413).

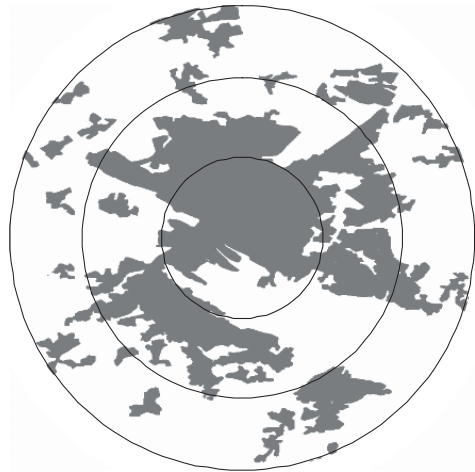
### Umfang-Fläche-fraktale Dimension

Diese fraktale Dimension wird als Anstieg der Regressionsgeraden für die Logarithmen der Umfänge und Flächeninhalte der Polygone ermittelt (THINH 2002, S. 413).

Mit den oben beschriebenen Maßen kann man einige fundierte Aussagen über die Stadtentwicklung ableiten (HUMPERT et al. 1996, FRANKHAUSER 1997 und 2000). Allerdings haben die Maße den wesentlichen Nachteil, dass sie die räumlichen Distanzen zwischen einzelnen Siedlungsflächen nicht erfassen und daher die unterschiedlichen Dispersionsgrade urbaner Strukturen nicht widerspiegeln können (siehe THINH 2002, S. 418–419). Deshalb ist es erforderlich, andere Maße für die Kompaktheit der Städte zu entwickeln.

### Radial-fraktale Dimension

Hierzu greift der Autor auf die von FRANKHAUSER 1997 vorgeschlagene radiale Analyse zurück, formuliert die mathematische Fundierung dafür und knüpft diese Analyse an die Ermittlung des Dichtegradienten an. Zur Erfassung der räumlichen Distanz wird das Siedlungsmuster in Distanzzonen (Kreise) um den Mittelpunkt mit den Radien  $r_1 < r_2 < \dots < r_n$  aufgeteilt (siehe Abb. 1) und das Verhältnis zwischen den Siedlungsflächen innerhalb der Kreise und ihren Radien analysiert. Es bezeichne  $s(r)$  ( $r \in r_1, r_2, \dots, r_n$ ) die Siedlungsfläche innerhalb eines



**Abb. 1:** Kreise um den Mittelpunkt eines Siedlungsmusters.

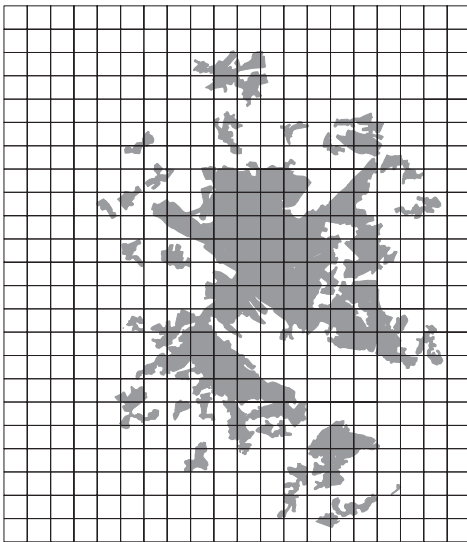
Kreises mit dem Radius  $r$ . So gilt  $0 < s(r) \leq \pi r^2$ . Hätte das Siedlungsmuster genau die Form eines Kreises, so wäre  $s(r) = \pi r^2$ . Daher kann für  $s(r)$  folgende Beziehung angenommen werden:  $s(r) = \beta r^D$  mit  $0 < D \leq 2$ . Durch Logarithmierung ergibt sich  $\ln(s(r)) = D \ln(r) + \ln(\beta)$ .

Hieraus ist die radial-fraktale Dimension als Anstieg der Regressionsgeraden der  $n$  Punkte  $(\ln(r_i), \ln(s(r_i)))$  zu ermitteln. Diese Analyse liefert auch die Erkenntnis, wie der Gradient der Bebauungsdichte mit der Entfernung zum Mittelpunkt der Stadt oder Stadtregion ausfällt (siehe Abb. 8).

### Gravitationsmaß

Diese Messung basiert auf einer GIS-Rasteranalyse und dem Gravitationsansatz. Dabei wird das Siedlungsmuster mit einem quadratischen Gitternetz von der Maschenweite 500 m x 500 m überdeckt (Abb. 2) und die Siedlungsfläche innerhalb jeder Rasterzelle quantifiziert. Das Gravitationsmaß berücksichtigt sowohl den Füllungsgrad der Rasterzellen mit Siedlungsflächen als auch die euklidischen Distanzen zwischen den Rasterzellen. Bezüglich einer ausführlichen Darstellung sei auf THINH 2002, S. 414–415, verwiesen.





**Abb. 2:** Überdeckung des Siedlungsmusters mit einem quadratischen Rasternetz.

Dieses Maß ist sensitiv gegenüber dem Auseinanderdriften von Siedlungsclustern und vermag Unterschiede in der Kompaktheit von Stadtlandschaften auszudrücken, was andere Maße wie z. B. Zerklüftungsgrad oder Umfang-Fläche-fraktale Dimension nicht leisten können. Ein Nachteil besteht im hohen Rechenaufwand und in der Schwierigkeit in der Normierung der Werte auf einen bestimmten Skalenbereich, z. B. von 0 bis 1. Beim Versuch zur Normierung dieses Gravitationsmaßes entstand die Idee, die Varianzanalyse für diesen Rasteransatz anzuwenden. Dabei konnte der Autor eine mathematische Formel entdecken und beweisen.

**Varianzmaß**

Nach der oben beschriebenen Rasterung werden alle Rasterzellen berücksichtigt, die irgendwelche Siedlungsfläche enthalten. Je weiter die Zellen entfernt voneinander liegen, desto größer sind die Varianzen der x- und y-Koordinaten ihrer Mittelpunkte (varianz(x) und varianz(y)). Daher liegt es nahe, die Varianzen zur Messung der Kompaktheit einzusetzen. Es sei S die Gesamtsiedlungsfläche des Musters. Wäre diese Fläche

S in einem äquivalenten Quadrat vereinigt, so bestünde das Rasternetz aus  $n^2$  Quadratzellen (n eine natürliche Zahl). Für diesen Idealfall gilt die folgende Beziehung:

$$\frac{S}{6(\text{varianz}(x) + \text{varianz}(y))} = 1$$

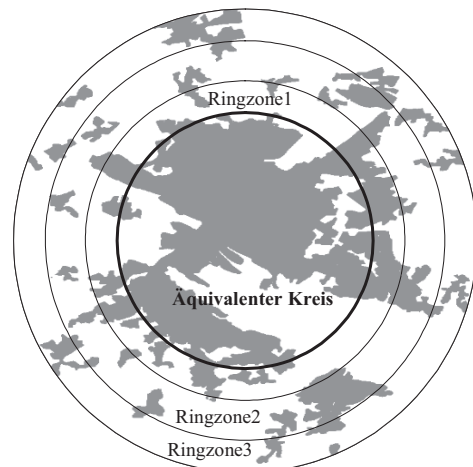
Im allgemeinen Fall ist der Wert der linken Seite diese Gleichung stets kleiner als 1. Auf eine Darstellung des Beweises für diese Beziehungen soll in diesem Rahmen verzichtet werden. Es sei auf eine andere Mitteilung verwiesen. Für die Messung der Kompaktheit wird das folgende Maß vorgeschlagen:

$$V = \frac{S}{6(\text{varianz}(x) + \text{varianz}(y))}$$

Es gilt  $0 < V \leq 1$  (je kleiner V ausfällt, desto unkompakter ist das Muster).

**2.2 Entropie-Methoden zur Messung der physischen und funktionalen Kompaktheit**

Eine weitere Idee besteht darin, mittels des Entropieansatzes und der Pufferanalyse die Dichte und die räumlichen Distanzen zu einem Zentrum oder zu Verkehrsachsen in einem Maß zu erfassen. YEH & LI (2001) haben bereits ein Entropiemaß zur Messung



**Abb. 3:** Der äquivalente Kreis und weitere Ringzonen um den Mittelpunkt des Musters.

der städtischen Zersiedelung verwendet. Die beiden Autoren haben jedoch nicht den äquivalenten Kreis konstruiert, sondern Pufferzonen um die innere Altstadt. Dadurch hat man keinen Anhaltspunkt zum Vergleich und zur Normierung des Maßes. Die in diesem Abschnitt beschriebenen Methoden sind für jedes beliebige dichte Maß, z. B. Bevölkerungs-, Arbeitsplatz-, Beschäftigten-, Bebauungsdichte usw. anwendbar und deshalb zur Messung sowohl der physischen als auch der funktionalen Kompaktheit geeignet.

### Auf Punkt gerichtetes Entropiemaß

Zunächst sollen um den Mittelpunkt einer Stadt(region) der äquivalente Kreis (vgl. Erläuterung zum Zerklüftungsgrad) und danach weitere Kreisinge (Ringzonen) um diesen Kreis konstruiert werden (Abb. 3).

Es bezeichnen  $d_0$  die Bebauungsdichte im äquivalenten Kreis, d. h. das Verhältnis der Siedlungsfläche innerhalb des Kreises zum Kreisflächeninhalt und  $d_n$  die Bebauungsdichte in der Ringzone  $n$ . Aus diesen Dichten werden die relativen Anteile abgeleitet:

$$q_i = \frac{d_i}{d_0 + d_1 + \dots + d_n} \quad i = 0(1)n$$

Würde die gesamte Siedlungsfläche des Musters in dem äquivalenten Kreis liegen (die kompakteste Form), so gelte  $d_0 = 1$  und  $d_i = 0$  bzw.  $q_0 = 1$  und  $q_i = 0$  ( $i = 1(1)n$ ). Bei einem extrem unkompaten Fall  $d_0 = d_1 = \dots = d_n$  gilt  $q_i = 1/(n+1)$  ( $i = 0(1)n$ ). Je stärker die  $d_i$  bzw.  $q_i$  bei zunehmenden  $i$  abfällt, desto stärker die Konzentration des Musters um den Mittelpunkt. Deshalb liegt es nahe, ein Entropiemaß als Kompaktheitsmaß zu verwenden:

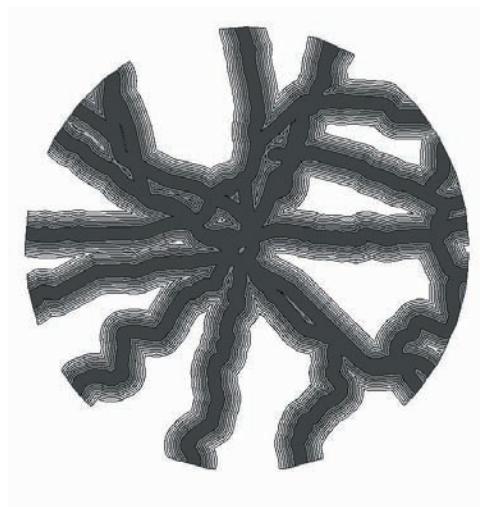
$$H = - \sum_{i=0}^n q_i \ln(q_i) / \ln(n+1)$$

Für  $H$  gilt  $0 \leq H \leq 1$ . Je größer  $H$  ist, desto unkompaten das untersuchte Siedlungsmuster ( $H = 0$  beim kompaktesten Fall,  $H = 1$  beim extrem unkompaten). Im Vergleich mit dem Gravitationsmaß ist dieses Entropiemaß besser geeignet zur Überwa-

chung von historischen Flächennutzungsänderungen innerhalb eines festgelegten Gebietes, z. B. innerhalb eines 20-km-Kreises wie beim MURBANDY-Projekt (MEINEL et al. 1999). Mit diesem Maß können Übereinstimmungen oder Abweichungen der zeitlichen Flächennutzungsänderungen von den Leitbildern „monozentrische Entwicklung“ oder „Urbanität durch Dichte“ herausgearbeitet werden. Hierin liegt ein wesentlicher Vorteil des Maßes. Der Autor verwendet statt Kreisen auch andere allgemeine Pufferformen, um der beliebigen Form von Stadtregionen in ihren administrativen Grenzen zu entsprechen. An der Stelle des äquivalenten Kreises werden das äquivalente Polygon und danach weitere Pufferzonen um dieses Polygon konstruiert.

### Auf Achsen gerichtetes Entropiemaß

Um die zeitlichen Änderungen der Flächennutzung mit dem Leitbild „Achsenmodell“ vergleichen zu können, schlägt der Autor folgende Modifizierung der geometrischen Konstruktion vor: Um die Hauptentwicklungsachsen wird eine Pufferzone gebildet, die dieselbe Flächengröße wie die Gesamtsiedlungsfläche des Musters hat; danach werden weitere Pufferzonen um die erste Zo-



**Abb. 4:** Pufferzonen um die Hauptentwicklungsachsen.

ne konstruiert (siehe Abb. 4). Die Berechnung des Entropiemaßes erfolgt analog wie oben beschrieben. Eine Zusammenschau der zwei Entropiemaße (Mittelpunkt oder Achsen gerichtet) liefert interessante Aspekte der Siedlungsentwicklung.

### Auf Teilräume gerichtetes Entropiemaß

Zur Messung des Dispersionsgrades von Grunddaseinsfunktionen (funktionale Kompaktheit) mit dem Entropiemaß können anstelle von Ringzonen und Dichtegrößen auch Teilräume in ihren administrativen Grenzen und relative Anteile der Aktivitäten verwendet werden. Bestehe das Untersuchungsgebiet aus  $n + 1$  Teilräumen, deren Bevölkerungszahlen (oder Arbeitsplatz- oder Beschäftigtenzahlen usw.)  $b_i$  ( $i = 0(1)n$ ) bekannt seien, so kann man anstatt der Dichtegrößen die relativen Anteile

$$q_i = \frac{b_i}{b_0 + b_1 + \dots + b_n}$$

( $i = 0(1)n$ ) zum Berechnen des oben beschriebenen Entropiemaßes heranziehen.

### 3 Anwendung der Maße zur Verfolgung von historischen Flächennutzungsänderungen der Stadtregion Dresden

Zur Verfolgung von historischen Flächennutzungsänderungen „Monitoring Urban Dynamics (MURBANDY) – Change Dresden“ haben MEINEL et al. (1999) ein kreisförmiges Gebiet mit dem Mittelpunkt im Stadtzentrum Dresden und einem Radius von 20 km als Untersuchungsgebiet abgegrenzt. Für dieses Gebiet konnten digitale Flächennutzungsdaten in den Jahren 1880, 1900, 1940, 1953, 1968, 1986 und 1998 gewonnen werden (siehe MEINEL et al. 1999, WINKLER 2001, NEUMANN 2002). Diese digitale Datenerfassung basierte auf Satelliten- und Luftbilddaten sowie historischem Kartenmaterial und CORINE-Daten. Es wurden u. a. verwendet: IRS-1C-Satellitenbilder (1998), SPOT-Satellitenbilder (1986), CORONA-Satellitenbilder (1968), Luftbilder (1953), Messtischblätter (1940, 1900) und Äquidistantenkarten (um 1880). Die Karten wurden gescannt, georeferenziert, zusammengefügt und danach unter Anwendung des MURBANDY-Flächennutzungs-Klassifikationsschlüssels in ArcView editiert (vgl. MEINEL & NEUMANN 2003, WITSCHAS 2002).

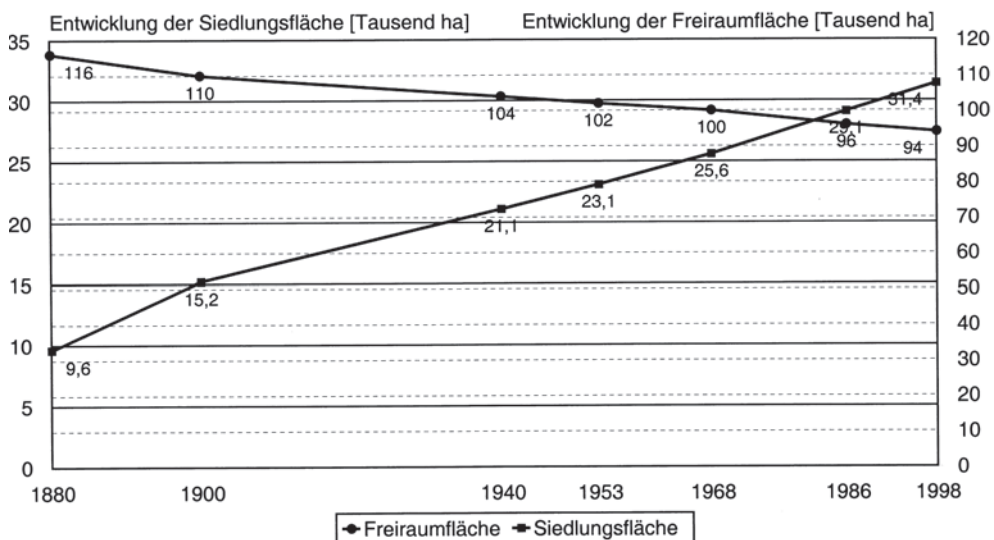
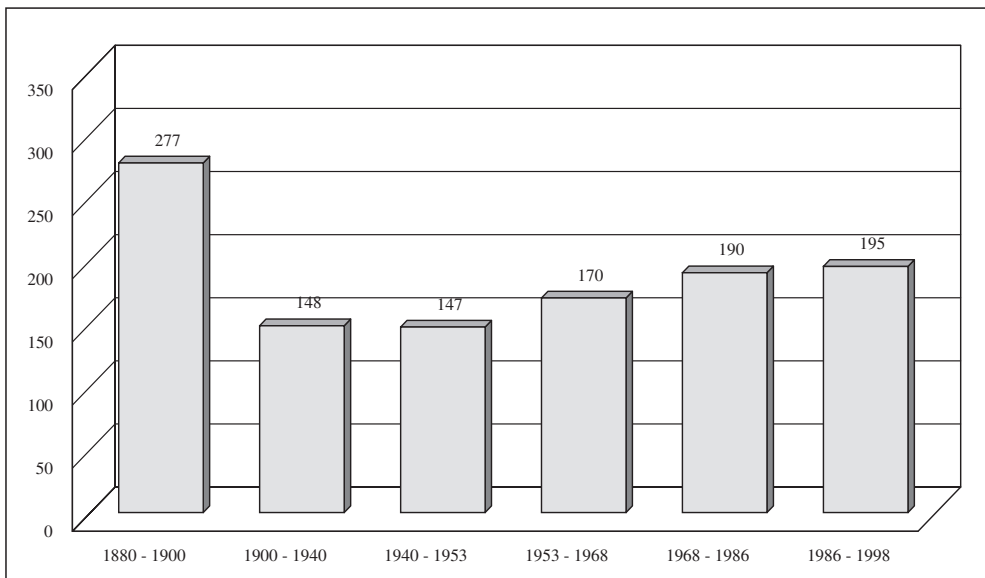


Abb. 5: Die Dynamik der Siedlungsentwicklung im 20-km-Kreis der Stadtregion Dresden.

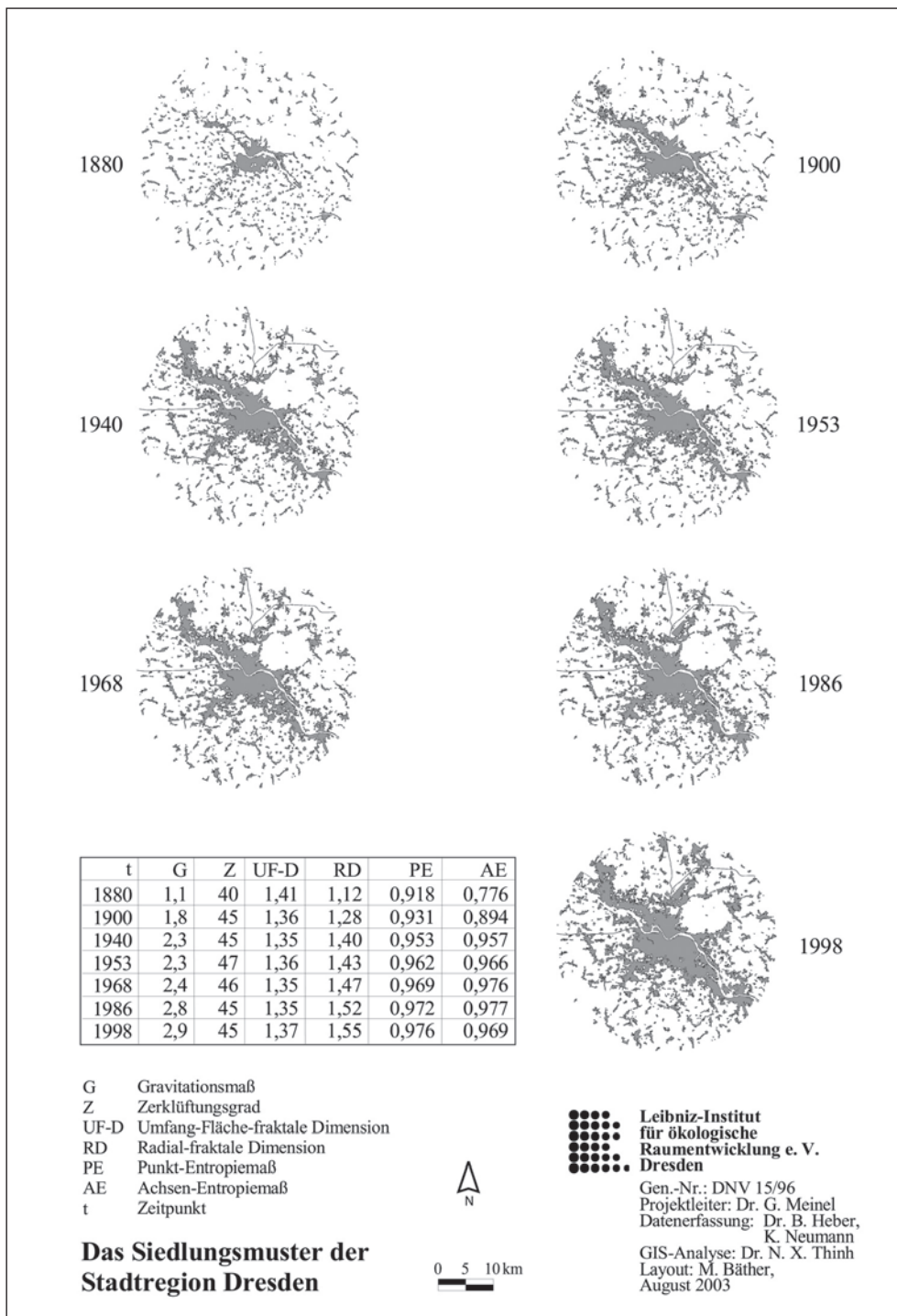


**Abb. 6:** Der durchschnittliche Flächenverbrauch im 20-km-Kreis der Stadtregion Dresden in ha/Jahr zu verschiedenen Zeiträumen.

Die Untersuchungsfläche beträgt ca. 125 Tausend ha (Fläche des Kreises mit 20-km-Radius). Die Abb. 5 und 6 zeigen deutlich, dass das Untersuchungsgebiet stark von der Siedlungsflächenexpansion betroffen ist. Von 1880 bis 1998 hat sich die Siedlungsfläche mehr als verdreifacht. Die höchste durchschnittliche Siedlungsflächenzunahme pro Jahr (277 ha/Jahr, Abb. 6) fand im Zeitraum von 1880 bis 1900 statt. Diese stürmische Expansion ist mit der raschen wirtschaftlichen Entwicklung während der Gründerzeit verbunden. In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts entwickelte sich Dresden unaufhaltsam zur Großstadt. Es war eine Geschichte der Industrialisierung, der weiteren flächenmäßigen Ausdehnung der Stadt und des Anwachsens der Bevölkerungszahl. Die bis in das 20. Jahrhundert hinein typischen Dresdner Industriezweige (die Nahrungs- und Genussmittelbranche, die Zigarettenherstellung, die Chemie- und Pharmaindustrie, die feinmechanisch-optische Industrie, die Elektro- und Verpackungsmaschinenindustrie) bildeten sich in dieser Zeitperiode endgültig heraus (STIMMEL et al. 1994, S. 22). Zwischen 1892 und

1903 wurde eine große Anzahl von Gemeinden und Industriesiedlungen eingemeindet (vgl. Landeshauptstadt Dresden, Kommunale Statistikstelle 2001, S. 25; STIMMEL et al. 1994, S. 24). Mit mehr als einer halben Million Einwohner rückte Dresden zur viertgrößten Stadt des Deutschen Reiches auf (STIMMEL et al. 1994, S. 24). Diesem atemberaubenden Tempo der Wirtschaftsentwicklung entsprechend wuchs die Industriefläche innerhalb des Kernraums (die größte zusammenhängende Siedlungsfläche) zwischen 1880 und 1900 von 186 ha auf 582 ha, die wohnbaulich und gemischt genutzte Fläche von 1.979 ha auf 3.488 ha (vgl. NEUMANN 2002, S. 68). Dieser enorme Zuwachs an Siedlungsfläche wurde in den Zeitperioden (1900–1940, 1940–1953) gebremst. Seit 1953 hat im Untersuchungsgebiet der durchschnittliche Flächenverbrauch pro Jahr aber ständig zugenommen (Abb. 6).

Gemäß dieser ständigen Füllung mit Siedlungsflächen innerhalb des 20-km-Kreises der Stadtregion Dresden nimmt die durchschnittliche Distanz zwischen einem beliebigen Punkt zu allen möglichen Punkten der Siedlungsfläche mit der Zeit ab; die durch-

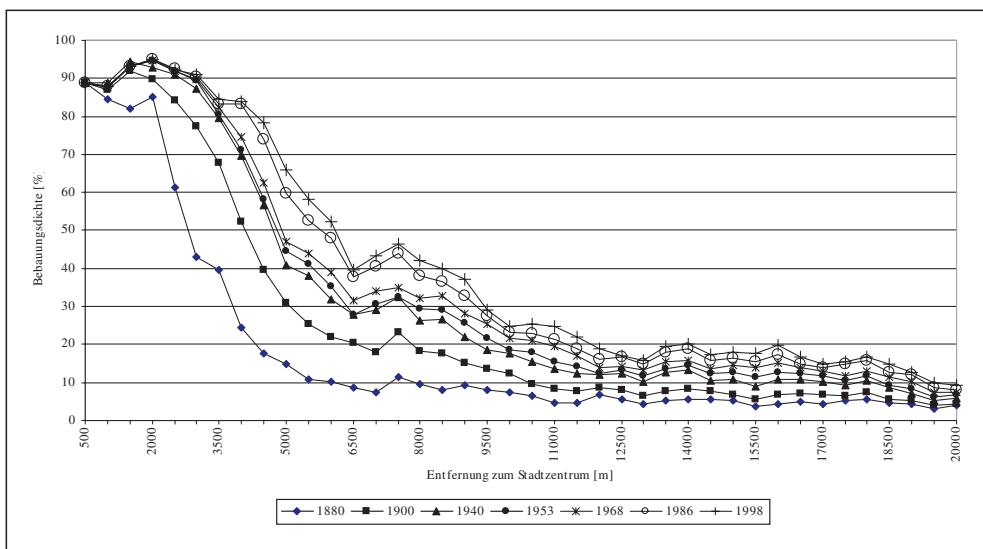


**Abb. 7:** Die Entwicklung der Siedlung im 20-km-Kreis der Stadtregion Dresden und ihrer Kompaktheitsmaße.

schnittliche Anziehungskraft zwischen Orten der Siedlungsfläche wird größer. Daher ist es plausibel, dass das Gravitationsmaß von 1880 bis 1998 zunimmt (siehe Abb. 7). Ebenfalls mit der Zeit wächst der Besiedlungsgrad bzw. die Bebauungsdichte innerhalb jeder Ringzone um den Mittelpunkt des Stadtzentrums (Abb. 8). Deshalb ist es logisch, dass die radial-fraktale Dimension ständig steigt (Abb. 7). Anhand der Abb. 8 erkennt man, wo und in welcher Entfernung die Unter- bzw. Kleinzentren liegen (die lokalen Extrema des Dichtegradients). Interessant ist zu sehen, dass die Kurven der Gradienten fast parallel zueinander verlaufen und wie stark diese Gradienten bis etwa 6,5 km vom Stadtzentrum abfallen (Abb. 8). Bei diesem Abstand könnte man eine physische Grenze zwischen Stadt und Landschaft ziehen. Die stürmische Siedlungsflächenexpansion zwischen 1880 und 1900 wird durch die deutlichen Veränderungen von Gravitationsmaß, Zerklüftungsgrad, Umfang-Fläche-fraktale Dimension und radial-fraktale Dimension widergespiegelt. Der Zerklüftungsgrad nimmt zunächst zu (von 1880 bis 1953) und danach ab (1953–1998); die Entwicklung der Umfang-Fläche-fraktale Dimension ist umgekehrt (Abb. 7).

Interessante Einsicht in die zeitliche Entwicklung des Siedlungsmusters innerhalb des 20-km-Kreises liefern die Entropiemaße. Beim Vergleich der Entwicklung dieses Musters mit den Leitbildern „monozentrische Entwicklung“ und „Achsenmodell“ zeigen die Berechnungen, dass es weit entfernt vom Idealmuster der Zentralisation bzw. der totalen Konzentration an Hauptverkehrsstraßen (die Autobahn, die Eisenbahnlinien, die Bundesstraßen B 6, B 170, B 172, B 173, E 55) liegt (Abb. 7). Sowohl das Punkt-Entropiemaß als auch das Achsen-Entropiemaß streben gegen 1. Unter den Aspekten der Zentralisation und Konzentration deuten die Entropiemaße darauf hin, dass die Siedlungsentwicklung innerhalb des 20-km-Kreises dispers ist. Das Achsen-Entropiemaß zeigt, dass nach der Wende etwas mehr an den genannten Hauptverkehrsstraßen gebaut wurde (Abnahme des Achsen-Entropiemaßes von 1986 zu 1998; siehe Abb. 7 und Abb. 9). Die Entropiemaße sind gut geeignet, um die raum-zeitlichen Entwicklungen von mehreren Städten bezüglich der zwei erwähnten Leitbilder zu vergleichen und zu typisieren (vgl. YEH & LI 2001).

Die theoretisch-methodische Fundierung und die empirischen Berechnungen haben



**Abb. 8:** Die Entwicklung des Dichtegradients im 20-km-Kreis der Stadtregion Dresden.

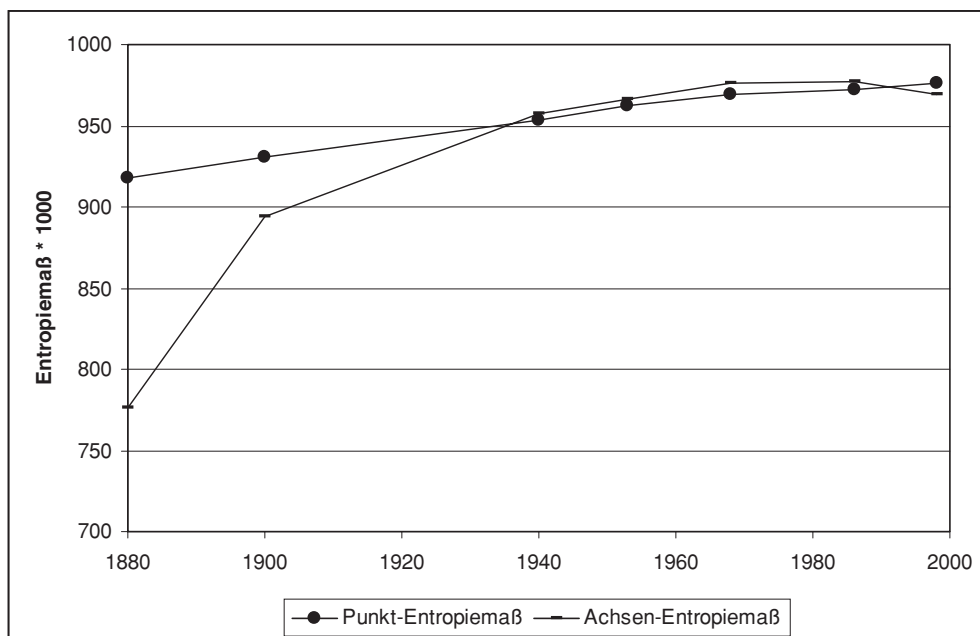


Abb. 9: Die Entwicklung der Entropiemaße im 20-km-Kreis der Stadtregion Dresden.

gezeigt, dass man bei der Charakterisierung der Kompaktheit des räumlichen Ordnungsgefüges von Stadtlandschaften viele räumliche Aspekte (Anordnung, Distanz, Dichte, Form usw.) berücksichtigen muss. Weil es schwierig ist, mit einem einzigen Maß viele Aspekte zu erfassen, sind zur Untersuchung der Kompaktheit von solchen Mustern verschiedene Maße (wie oben beschrieben) anzuwenden. Die Entscheidung, welches Maß man verwenden soll, hängt auch von der inhaltlichen Fragestellung ab.

### Danksagung

Das zweite Kapitel stellt eine Weiterentwicklung von theoretisch-methodischen Beiträgen dar, die der Autor im Rahmen eines interdisziplinären Forschungsprojektes am IÖR unter Leitung von Herrn Dr. G. ARLT leistete. Der Autor dankt den Herren Dr. G. MEINEL, U. SCHUMACHER, K. NEUMANN und M. WINKLER für die fruchtbare Diskussion und freundliche Unterstützung bei der Nutzung der GIS-Daten der Stadtregion Dresden.

### Literatur

- ARLT, G., GÖSSEL, J., HEBER, B., HENNERSDORF, J., LEHMANN, I. & THINH, N.X., 2001: Auswirkungen städtischer Nutzungsstrukturen auf Bodenversiegelung und Bodenpreis. – IÖR-Schriften, Bd. 34, Dresden.
- BEATLEY, T., 2000: Green Urbanism Learning from European Cities. – Island Press Washington.
- BOBEK, H., 1928: Innsbruck, eine Gebirgsstadt. Ihr Lebensraum und ihre Erscheinung. – Forschungen zur deutschen Landes- u. Volkskunde, Stuttgart.
- BREHENY, M.J., 1992: The Contradictions of the Compact City: A Review. – In: BREHENY, M.J. (Ed.): Sustainable Development and Urban Form, European research in regional science. – 138–159, London.
- BREHENY, M.J., 1996: Centrists, Decentrists and Compromisers: Views on the Future of Urban Form. – In: JENKS, M., BURTON, E. & WILLIAMS, K. (Eds.): The Compact City – A Sustainable Urban Form. – 13–35, E & FN SPON London.
- DEIMER, J., 1998: Leitstern kompakte Stadt. – Der Städtetag 1/1998: 1–2.
- EINIG, K., GÖSSEL, J. & SIEDENTOP, S., 1997: Nutzen von CORINE-Daten zur Verfolgung des

- Verstädterungsprozesses in ostdeutschen Ballungsräumen. – GIS 1/1997.
- FRANKHAUSER, P., 1997: Fractal Analysis of Urban Structures. – In: HOLM, E. (Ed.): Modelling space and Network Progress in Theoretical and Quantitative Geography. – Gerum Kultur-geografi.
- FRANKHAUSER, P., 2000: GIS and the Fractal Formalisation of Urban Patterns: Towards a New Paradigm for Spatial Analysis. – In: FOTHERINGHAM, A. S. & WEGENER, M. (Eds.): Spatial Models and GIS New Potential and New Models. – 121–142, Taylor & Francis London.
- GATZWEILER, H.-P., 1996: Siedlungsentwicklung und Siedlungspolitik in Deutschland. – Raumforschung und Raumordnung 1996 (2/3): 129–136.
- GEER, S. de, 1923: Greater Stockholm. – Geographical Review: 487–500.
- HESSE, M., 1999: Die Logik der kurzen Wege: Räumliche Mobilität und Verkehr als Gegenstand der Stadtforschung. – Erdkunde, Band 53: 317–329.
- HOFMEISTER, B., 1996: Die Stadtstruktur. – Wissenschaftl. Buchgesellsch., Darmstadt.
- HILLMAN, M., 1996: In Favour of the Compact City. – In: JENKS, M., BURTON, E. & WILLIAMS, K. (Eds.): The Compact City – A Sustainable Urban Form. – 36–44, E & FN SPON London.
- HUMPERT, K., BECKER, S. & BRENNER, K., 1996: Entwicklung großstädtischer Agglomerationen. – In: TEICHMANN, K. & WILKE, J. (Hrsg.): Prozess und Form natürlicher Konstruktionen. – 182–189, Ernst & Sohn Verlag Berlin.
- JENKS, M., BURTON, E. & WILLIAMS, K. (Eds.), 2000: The Compact City – A Sustainable Urban Form. – 215–216, E & FN SPON London.
- JESSEN, J., 2000: Leitbild kompakte durchmischte Stadt. – GR 52, H. 7–8: 48–50.
- Landeshauptstadt Dresden, Kommunale Statistikstelle, 2001: Statistische Informationen, Dresden in Zahlen 2000.
- MEINEL, G., COLDITZ, U., GÖSSEL, J., HEBER, B., HENNERSDORF, J., SCHUMACHER, U. & SIEDENTOP, S., 1999: Monitoring Urban Dynamics (MURBANDY) – Change Dresden. – Final Report of EU-Project No 14672-1998-12 F1PCISP DE, IÖR Dresden
- MEINEL, G. & NEUMANN, K., 2003: Flächennutzungsentwicklung der Stadtregion Dresden seit 1790 – Methodik und Ergebnisse eines Langzeitmonitorings. – Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation 2003 (5): 409–422.
- NEUMANN, K., 2002: GIS-basierte Aufnahme und Analyse der Flächennutzungsentwicklung der Stadtregion Dresden von 1880 bis 1998. – Diplomarbeit, IÖR und TU Dresden.
- STIMMEL, F., EIGENWILL, R., GLODSCHKEI, H., HAHN, W., STIMMEL, E. & TITTMANN, R., (1994): Stadtlexikon Dresden. – Verlag der Kunst, Dresden, Basel.
- STETE, G., 1995: Frauen unterwegs. Forderungen an die Stadtplanung. – Internat. Verkehrswesen, Jg.47, Nr.1/2: 35–42.
- THINH, N. X., 1999: Charakterisierung städtischer Siedlungsstrukturen. – In: Grützner, R. & Möhring, M. (Hrsg.): Werkzeuge für die Modellierung und Simulation im Umweltbereich. – Umweltinformatik Aktuell Bd. 22: 155–166, MetropolisVerl. Marburg.
- THINH, N. X., 2002: Entwicklung von AML-Programmen zur räumlichen Analyse der Flächennutzungsmuster von 116 kreisfreien Städten in Deutschland. – Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation 2002 (6): 409–422.
- WALZ, U., 2001: Charakterisierung der Landschaftsstruktur mit Methoden der Satelliten-Fernerkundung und der Geoinformatik. – Logos Verlag Berlin.
- WILLIAMS, K., BURTON, E. & JENKS, M., 2001: Achieving Sustainable Urban Form. – Spon Press London.
- WINKLER, M., 2001: GIS-basierte Flächenentwicklungsanalyse von fünf europäischen Großstädten (Bilbao, Bratislava, Dresden, Lyon, Palermo) und deren Visualisierung auf der Basis digitaler Datenbestände. – Diplomarbeit, IÖR und TU Dresden.
- WITSCHAS, S., 2002: Erinnerung an die Zukunft – sächsische historische Kartenwerke zeigen den Landschaftswandel. – Kartographische Nachrichten 52 (3): 111–117.
- YEH, A.G.O. & LI, X., 2001: Measurement and Monitoring of Urban Sprawl in a Rapidly Growing Region Using Entropy. – Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 67, No. 1: 83–90.

Anschrift des Verfassers:

Dr. rer. nat. NGUYEN XUAN THINH  
Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V. Dresden  
Weberplatz 1, D-01217 Dresden  
e-Mail: NG.Thinh@ioer.de

Manuskript eingereicht: August 2003  
Angenommen: November 2003



## WEB-basiertes 3D-Campus Informationssystem der Technischen Universität YILDIZ (YTUBIS)

GEM ERASLAN & ZUBEYDE ALKIS, TU Yildiz – Istanbul/Türkei

**Keywords:** web based GIS, 3D campus information system, information system of university

**Zusammenfassung:** An der Technischen Universität Yildiz sind insgesamt 21.000 Personen tätig: Studenten, Wissenschaftler und Angestellte. Die räumlichen und semantischen Daten, die von diesen Personen verwendet werden müssen, werden systematisch erfasst und gespeichert, so dass schneller Zugriff möglich ist. Für diesen Zweck wurde das web-basierte GIS aufgebaut.

**Summary:** *Web-based 3D Campus Information System of Yildiz Technical University.* There are 21.000 people working currently at Yildiz Technical University including students, academics and administrative staff. It is essential to plan spatial data that are required for these people, and it is also necessary to access the data at high speed. For this purpose, web-based GIS established.

---

### 1 Einleitung

„Universitäten sind Institutionen, die aus Studenten, Akademikern und angestelltem Personal bestehen“ (zitiert nach S. LANDES 1999). Der Bedarf nach Unterstützung durch ein Informationssystem für organisatorische Abläufe ist hier genauso gegeben wie bei anderen Institutionen (VRANA et al. 2001). Es stehen Räume zur Verfügung, in denen Menschen arbeiten – Menschen mit hygienischen und sozialen Bedürfnissen – wo unterrichtet und wo ein großer Teil des Alltags verbracht wird.

Die optimale Planung für die Nutzung der vorhandenen Raumressourcen sowie die Verwirklichung von effizienten und kontrollierten Abläufen in Studienangelegenheiten, die bessere Gestaltung und Beschleunigung der Kommunikation zwischen dem Verwaltungspersonal, der schnelle Zugriff auf Informationen von Akademikern und im allgemeinen die Gewährleistung einer umfassenden internen transparenten Koordination innerhalb einer Universität ist heute nur in einer elektronischen Umgebung möglich.

Durch eine derartige Implementierung ist es möglich, an Ressourcen wie Zeit und Arbeitskraft zu sparen und Kosten zu senken.

Zu diesem Zweck wurde ein 3-D GIS im Campus der Technischen Universität Yildiz entwickelt. Hier einige Basisinformationen über die Technische Universität Yildiz:

Die Technische Universität Yildiz wurde 1911 in Istanbul gegründet. Die Universität hat drei Campusplätze, welche sich in verschiedenen Stadtteilen von Istanbul befinden. 19.000 Studenten, 1.300 Wissenschaftler und 700 Angestellte sind an der Universität tätig.

Zu den drei Campusplätzen (alle auf der europäischen Seite):

- **Der zentrale YTU Campus (Yildiz):**  
Die Fläche beträgt 11,8 ha. Hier stehen insgesamt 32 Gebäude, in denen sich Fakultäten, Labore, Büros, Unterkünfte und eine Mensa befinden.
- **Der Ayazaga Campus (Maslak):**  
Die Fläche beträgt 1,7 ha. Hier befinden sich insgesamt 3 Gebäude mit Studentenwohnheim und Hochschule.

- **Der Davutpaşa Campus (Esenler):**

Die Universität hat diesen Campus, dessen Fläche 130 ha beträgt, 1998 gekauft, mit einem Gebäudekomplex aus osmanischer Zeit, einer früheren Kaserne. Jedoch gibt es hier auch weitere historische Gebäude. Die restaurierten Gebäude befinden sich auf einer Fläche von 5 ha. Zurzeit wird in zwei Fakultäten unterrichtet, in denen es zehn Institute gibt. Die Übersiedlung aller Ingenieurwissenschaften auf diesen Campus ist für die nächsten fünf Jahre geplant. Zusätzlich werden ein Techno-Park, ein Wissenschaftszentrum, ein Sportkomplex, ein Studentenwohnheim und Dienstwohnungen geplant.

Mit der Zielsetzung, die verschiedenen Campusplätze der Universität effizienter zu verwalten, wurde YTUBIS (Informationssystem der Technischen Universität Yildiz) entwickelt. Das zurzeit intern an der Universität verwendete YTUBIS wird sehr bald durch eine Web-Ebene erweitert, allerdings mit beschränktem Zugriff auf Daten. Dies führt zu folgenden Vorteilen:

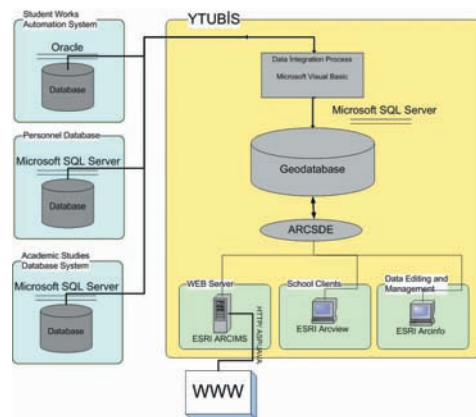
- Für Studenten, Akademiker und Besucher wird der Zugriff auf für sie relevante Informationen erleichtert.
- Mit der Übertragung ins Internet können Besucher sehr leicht Informationen über die Universität abfragen.

## 2 Dreidimensionale Geo-Informationssysteme

Üblicherweise verwendet man für 3D marktübliche GIS-Software von 2D, die auf eine Referenzebene abbildet. Auf diese wird die dritte Dimension projiziert. Einer der Hauptgründe für diese an sich unzulässige Vereinfachung liegt in der Komplexität der Realisierung eines vollständigen dreidimensionalen Geo-Informationssystems (FRITSCH 1996).

## 3 Systemarchitektur

YTUBIS besteht aus graphischen Daten und nicht-graphischen Daten. Die beim Systementwurf definierten Daten sind in ge-



**Abb. 1:** Die Architektur des Informationssystems der YTU.

trennten Datenbanken gespeichert (siehe Abb. 1). Alle Daten werden in den Microsoft SQL Server übertragen. Die Programme ArcInfo und ArcView wurden als GIS-Programm zum Aufbau einer Topologie in den Grafikdaten, zur Coverage und zur Bildung von \*.shp Daten verwendet.

Das ArcSDE Modul dient zur Verbindung des SQL Servers und der GIS-Programme (ESRI 2000). Die Nicht-Graphikdaten werden in Oracle und in ähnlichen Datenbanken gespeichert (z. B. Lehrveranstaltungs-Datenbank, Personaldatenbank, Forschungs- und Entwicklungsdatenbank). Das Synchronizer-Programm dient zur Verbindung zwischen dem SQL Server und der Datenbank. YTUBIS wird zusammenhängend mit ArcSDE und mit der Hilfe des Moduls Arc IMS, als Webebene in das Internet übertragen (ERASLAN 2003).

## 4 Erfassung der aktuellen Lage

Mit der Zielsetzung, die graphischen und nicht-graphischen Daten zu vereinigen, wurden die verfügbaren Daten und Datenquellen (digitale oder analoge), die benutzten Daten-Formate und -Standards sowie die verfügbare Hard- und Software analysiert.

#### 4.1 Graphische Daten

Dies sind:

- digitale Campuskarten, die im Maßstab 1:1000 photogrammetrisch hergestellt wurden,
- analoge Stockwerkspläne im Maßstab 1:50 (digitalisiert) und
- analoge Pläne der Elektrizitäts-, Telefon-, Erdgas-, Wasser- und Kanalisationsnetze im Maßstab 1:200.

Die analogen Daten wurden mit einem Scanner digitalisiert, die fehlenden Daten geodätisch gemessen und vervollständigt.

#### 4.2 Nicht-graphische Daten

Das sind:

- das Studenten-Informationssystem der Studienabteilung (Lehrveranstaltungsdatenbank: eingeschriebene Studenten, gewählte Lehrveranstaltungen/Oracle Datenbank),
- die Personal-Datenbank (Daten des wissenschaftlichen und des angestellten Personals/Microsoft SQL Server) und
- die Akademische Datenbank (veröffentlichte Artikel, das jeweilige Spezialgebiet der Wissenschaftler, die Projekte, an denen sie teilgenommen haben, die jeweils betreuten Master- und Doktorarbeiten, Mitgliedschaften in Organisationen usw./Microsoft SQL Server).

Lagepläne von Räumen (Stockwerkspläne) wurden von der Abteilung für Bauwesen konventionell auf Papier geführt und sind nicht mehr aktuell. Diese Daten, einschließlich Inventar, wurden aktualisiert, indem sie einzeln gemessen und in das System übertragen wurden.

Die nicht-graphischen Daten werden seit 1997 in Oracle und Microsoft SQL Server-Datenbanken gespeichert. Das System wurde so entworfen, dass sich die vorhandenen Daten integrieren lassen.

### 5 Der Systementwurf

Die vorhandene Datenbank-Software von YTU und die Datenbank von YTUBIS

kommunizieren automatisch über eine Konvertierungs-Software. Somit wird jede Veränderung in den Daten direkt in das System übertragen. Folgende Ebenen werden im System verwendet: Die Campusplätze der TU Yildiz (aus digitalen photogrammetrischen Karten entnommen), Gebäude, Stockwerkspläne, Büros und Hörsäle. Darüber hinaus sind auch Fenster und die Türen in den Räumen sowie Treppen und Flure abgelegt. Die Zusammenhänge der Datenbanken beim Entwurf des Systems sind in Abb.2 zu sehen.

Alle Layer sind auf das gemeinsame nationale Koordinatensystem bezogen.

### 6 Anwendungsbeispiele

Für das digitale Höhenmodell des Campus wurden digitale photogrammetrische Karten im Maßstab 1:1000 verwendet. Aus Höhenlinien, Höhenkoten und Höhenprofilen wurde eine Dreiecksvermaschung gebildet (TIN). Dieses DHM- Verwaltungssystem ist mittels einer Datenschnittstelle in das GIS eingebunden. Die Daten werden durch festgelegte Formate zwischen den zwei unabhängigen Programmen ausgetauscht. Der Vorteil liegt in der Nutzung sämtlicher Informationen des digitalen Höhenmodells, ohne dass hierzu die Datenbank des GIS geändert werden muss (ZANINI 1998). Somit erhält man eine 3-D Visualisierung des Campus bis hin zu den Stockwerken der Gebäude. Bei der Modellierung wurde das ArcScene-Programm benutzt (ESRI 2003, Abb. 3).

#### Abfragen

Für das YTUBIS Internet-Medium wurde das ESRI ArcIMS-Programm benutzt. Die Abfrage-Menüs sind in ASP-Sprache geschrieben und wurden mit dem Activex Connector zum Server verbunden. Das System wurde nach der Thin-Client-Architektur aufgebaut.

Aus nicht-graphischen Daten ist es möglich, graphische Daten abzufragen. (Beispiel: Von den redundanzfrei registrierten Personalnummern können graphische In-

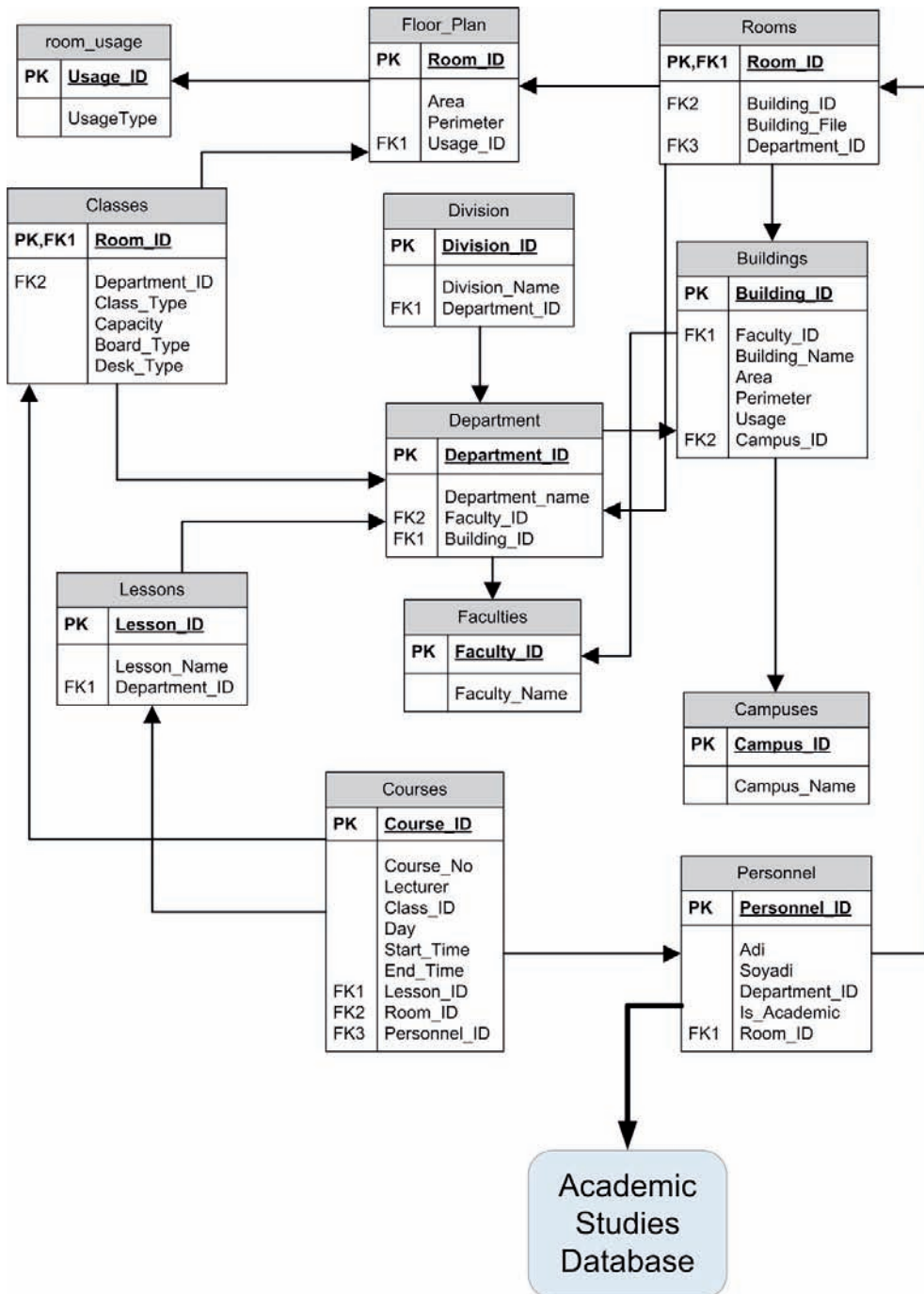
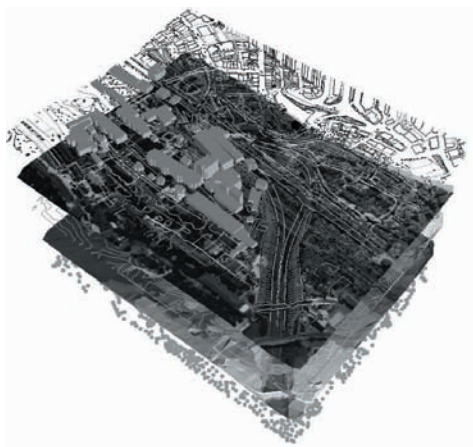


Abb. 2: Das Systemdesign von YTUBIS.



**Abb. 3:** Perspektive Abbildung der Datenebenen vom Campus der YTU.

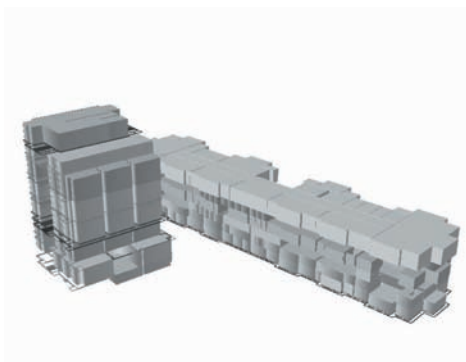
formationen darüber gewonnen werden, in welchem Gebäude, Stockwerk und in welchem Raum sich die Personen befinden. Dies alles ist in 3-D auf dem Bildschirm visualisiert). Wenn der Code der Lehrveranstaltungen eingegeben wird, ist zu sehen, in welchem Gebäude und in welchem Hörsaal unterrichtet wird.

Wenn man das 3-D Bild anklickt, wird angezeigt, von welchem Dozenten um welche Uhrzeit Vorlesungen gehalten werden. Um den vollständigen Datensatz eines Wissenschaftlers zu erhalten (Veröffentlichungen, Lehrveranstaltungen, Forschungsprojekte etc.) genügt es, die Personalnummer abzurufen.

## 7 Schlussfolgerungen

Indem die an der Universität vorhandenen Datensysteme mit graphischen Daten in Verbindung gebracht werden, können dadurch neue Informationen für verschiedene Zwecke gewonnen werden. Die Universitätsverwaltung kann Planungen am Computer durchführen, z. B. im Zusammenhang mit der Errichtung oder Erweiterung von Hörsälen oder Büros.

YTUBIS hilft auch zur effektiven Ausnutzung der Hörsaalkapazität. Defekte, wie nötige Reparaturen in den Räumlichkeiten, konnten von der zuständigen Verwaltung



**Abb. 4:** 3-D-Darstellung von Gebäuden (Block C und D).

wegen langsam arbeitender Bürokratie lange Zeit nicht behoben werden, was wiederum zur Behinderung anderer Arbeiten führte. Über das Internet der für die Abstellung verantwortlichen Verwaltung mitgeteilte Schäden reduzieren die Bürokratie. Zusätzlich können die Leiter kontrollieren, wie lange z. B. eine Reparatur gedauert hat. Die Häufigkeit der Defekte und die Reparaturkosten werden gespeichert, und somit wird, Dank der erstellten Statistiken, eine Kostenreduktion möglich und darüber hinaus werden manche Schäden auch von vornherein verhindert.

Für Besucher oder Universitätsangehörige, die dort nach bestimmten Personen oder nach bestimmten Anlagen suchen (Toiletten, Restaurant, Poststelle . . .), ist das Internet eine erhebliche Erleichterung.

Mit einer 3-D Präsentation des Campus gewinnt die Universität an „Ansehen“, da YTUBIS eine Art global abrufbare Visitenkarte darstellt.

Die YTU befindet sich an einem historischen Ort. Im zentralen Campus und im Davutpaşa Campus stehen Gebäude, die zum Besitz der osmanischen Sultane gehört haben, und außerdem befinden sich in den Gärten verschiedene Arten großartiger Pflanzen und Bäume, die den Sultanen von ausländischen Staatsgästen geschenkt worden waren. Deswegen wurden Video-Präsentationen von historischen Gebäuden mit ihren kostbar ausgestatteten Räumlichkei-

ten dem YTUBIS hinzugefügt, wie auch ein detailliertes Pflanzen-Informationssystem.

Mit YTUBIS hat das Ministerium eine Grundlage für Budgetzuweisungen auf der Basis von e-government. Es erlaubt den politisch Verantwortlichen nachvollziehbare, transparente Entscheidungen.

Unter dem Vorsitz des Vize-Rektors wurde YTUBIS gegründet und die zuständigen Mitarbeiter wurden entsprechend geschult. Jedoch gibt es leider immer noch Personen in verantwortlichen Abteilungen, die Neuerungen grundsätzlich ablehnend oder reserviert gegenüberstehen, und deshalb auch die Nutzung dieser neuen Arbeitsmittel nicht beherrschen. Die effektive Anwendung des Systems wird dadurch immer noch erschwert.

## Literatur

- ERASLAN, C., 2003: *Ynternet Tabanlı Yildiz Teknik Üniversitesi Bilgi Sistemi*. – Master Tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- FRITSCH, D., 1996: *Three-Dimensional Geographic Information Systems – Status and Prospects*. – IAPRS, Vol. XXX1, Part B3.
- LANDES, S., 1999: *Funktionalität des internetbasierten 3D-Campus-Informationssystem der Universität Karlsruhe*. – Dissertation, Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen der Universität Friderica zu Karlsruhe (TH).
- ESRI-Raster Data, 2000: *Arc SDE ESRI White Paper*, [www.esri.com](http://www.esri.com)
- VRANA, I., BURIL, J. & CERNY, A., 2001: *Methods for Building a University Information System. – Handbook*, edited by EUNIS, printed by Re-procentrum, a.s., Blansko, Czech Republic, as a part of the RS 9811 Project assigned by the Czech Ministry of Education, Bruno, March, ISBN 80-214-1937-0.
- ZANINI, M., 1998: *Dreidimensionale synthetische Landschaften, Wissensbasierte Dreidimensionale Rekonstruktion und Visualisierung raumbezogener Informationen*. – Dissertation ETH Nr. 12893, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, ISBN 3-906467-15-5, ISSN 0252-0335.

## Anschriften der Autoren:

Res. Assistent Dipl.-Ing. CEM ERASLAN  
 Institut Photogrammetrie und Fernerkundung  
 Yildiz Technische Universität  
 Yildiz – Istanbul/Türkei  
 Tel.: +90-212 2597070/2784  
 e-mail: [ceraslan@yildiz.edu.tr](mailto:ceraslan@yildiz.edu.tr)

Prof. Dr.-Ing. habil. ZUBEYDE ALKIS  
 Institut Photogrammetrie und Fernerkundung  
 Yildiz Technische Universität  
 Yildiz – Istanbul/Türkei  
 Tel.: +90-212 2597070/2719  
 e-mail: [zubeyde@yildiz.edu.tr](mailto:zubeyde@yildiz.edu.tr)

Manuskript eingereicht: Januar 2004

Angenommen: Februar 2004

## Berichte

### **50 Jahre OEEPE/EuroSDR, Internationale Fachtagung am Bayerischen Landesvermessungsamt**

Vom 15. bis 17.10. 2003 fand im Bayerischen Landesvermessungsamt in München die Herbsttagung der OEEPE (Organisation Européenne d'Études Photogrammétriques Expérimentales – Europäische Organisation für experimentelle photogrammetrische Forschung) statt. Anlässlich der Tagung wurde am 16. 10. 2003 der 50. Jahrestag dieser europäischen Einrichtung mit einem Festseminar begangen.

Die OEEPE wurde nach einer Empfehlung des damaligen Rates der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit in Europa bereits im Jahre 1953 in Paris von sechs Staaten, u. a. Deutschland, gegründet. Auf dem Gebiet der Photogrammetrie und Fernerkundung haben sich Hochschulen, Industrie und Vermessungsverwaltungen in der OEEPE zusammengeschlossen.

Derzeit zählt die OEEPE 18 Mitgliedsstaaten: Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Großbritannien, Irland, Italien, Österreich, Niederlande, Norwegen, Polen, Portugal, Spanien, Schweden, Schweiz, Türkei und Zypern. Die Teilnahme steht allen europäischen Staaten offen. Ihre Ziele sind unter anderem die Entwicklung und Verbesserung der Methoden, Systeme und Standards für die Erfassung, Verarbeitung, Aktualisierung und Verbreitung von Geobasisdaten.

Das Seminar zum 50. Jahrestag der Gründung stand unter dem Motto »From OEEPE to EuroSDR, 50 years of Spatial Data Research and beyond« (*Von der OEEPE zur EuroSDR, 50 Jahre Europäische Geodaten-Forschung und mehr*). Es gab neben einer Rückschau auf 50 Jahre Geodatenforschung vor allem einen Ausblick auf die zukünftigen Anforderungen der Informationsgesellschaft an 3D-Geodaten und wie diese möglichst aktuell und genau bereitgestellt werden können. Die Ausrichtung

auf die aktuellen Fragestellungen wird auch durch den neuen Namen der Vereinigung ausgedrückt: EuroSDR – European Spatial Data Research (Europäische Geodaten-Forschung).

Nach der musikalischen Eröffnung des Seminars durch das Ensemble *Bassiona Amorosa* und der Begrüßung durch den Präsidenten der OEEPE, Prof. Dr. RISTO KUITTINEN, folgten die Grußworte des Präsidenten des Bayerischen Landesvermessungsamtes, Prof. GÜNTER NAGEL, und des Vizepräsidenten der FIG, Prof. Dr. RALF SCHROTH. Anschließend sprach der Rektor der Universität Stuttgart, Prof. Dr. DIETER FRITSCH, in seinem Festvortrag „*Geoinformationen und Informationsgesellschaft*“ über verschiedene Aspekte, wie Infrastruktur, Normung und Datenqualität von Geodaten. Der neue Präsident von EuroGeographics, Prof. Dr. DIETMAR GRÜNREICH (BKG), und Dr. ALESSANDRO ANNONI, Repräsentant von INSPIRE (*Infrastructure for Spatial Information in Europe*) konkretisierten das Thema der Geodateninfrastruktur für Europa, indem sie deren Bedeutung als Werkzeug für eine nachhaltige Entwicklung aufzeigten und einen Überblick über vorhandene Initiativen, Forschungsthemen und notwendige Schritte zur Umsetzung gaben. Dabei haben die europäischen Organisationen und Forschungseinrichtungen eine bedeutende Rolle. Den Aufbau eines Basissystems für Geodaten in Großbritannien und seine Bedeutung für eine bessere Entscheidungsfindung stellte die Generaldirektorin der Britischen Landesvermessung, Dr. VANESSA LAWRENCE, dar. Prof. Dr. ROBERT LAURINI vom Nationalen Institut für angewandte Wissenschaften (INSA) in Lyon referierte über die neuesten Entwicklungen im Bereich der GIS Datenbanken. Den Ablauf und Inhalt von Forschungsprojekten der EuroSDR behandelte Prof. Dr. OLAF HELLWICH von der Technischen Universität Berlin am Beispiel des aktuellen Sensorvergleichs. Testbilder von luft-

gestütztem SAR (Radar mit synthetischer Apertur) und optischen Sensoren sollen einzeln und kombiniert ausgewertet werden, um ihr Potential für die Erfassung von topographischen Objekten zu vergleichen. Die zukünftigen Forschungsziele und die Forschungsstrategie der EuroSDR stellte Prof. Dr. MARTIEN MOLENAAR (Leiter des Internationalen Instituts für Geoinformationswissenschaften und Erdbeobachtung (ITC), Enschede, NL) dar, bevor der scheidende Generalsekretär der EuroSDR, CHRIS PARESI (ITC), einen Rückblick über die Entwicklung der Photogrammetrie und der Arbeit der OEEPE in den letzten 50 Jahren gab. Als krönenden Abschluss der Festveranstaltung empfing Prof. Dr. FRANKENBERGER in Vertretung für Herrn Staatsminister Prof. Dr. FALTLHAUSER die Gäste in der Münchner Residenz.

In der Herbsttagung der EuroSDR (Steering Committee), der Prof. NAGEL als Delegierter der AdV angehört, und der Sitzung des wissenschaftlichen Komitees wurde über die laufenden Projekte berichtet und diskutiert. So wurde u. a. der Start des neuen Forschungsplans für die Periode 2004–2006 als Rahmenplan für die Forschung der EuroSDR in den nächsten Jahren beschlossen. CHRIS PARESI übergab die Geschäfte an den neuen Generalsekretär KEVIN MOONEY (Irland). Damit verbunden ist die Verlegung des Generalsekretariats vom ITC in Holland an das Dublin Institute of Technology in Irland. Um dem erweiterten Aufgabenspektrum gerecht zu werden, wird das Generalsekretariat durch eine Vollzeitstelle erweitert.

Nicht nur beim Empfang in der Residenz, sondern auch beim »Bayerischen Abend« konnten die Themen im Gespräch vertieft werden. Dazu hatte das Bundesamt für Kartographie und Geodäsie am Vorabend in das Münchner Hofbräuhaus eingeladen. Das internationale Publikum war von der bayerischen Küche und der von Herrn GEORG FICHTINGER organisierten Schuhplattlergruppe vom Isargau begeistert. Auch das Rahmenprogramm mit einem Besuch der Porzellanmanufaktur im Schloss Nymphenburg, der Besichtigung des Buchheim Mu-

seums und des Klosters Benediktbeuren, einer Stadtrundfahrt und der Abschlussfahrt zum Schloss Neuschwanstein und zur Wieskirche fand großen Anklang.

KARIN DE LAPORTE, München

### 3. Oldenburger 3D-Tage Optische 3D-Messtechnik – Photo- grammetrie – Laser-Scanning

am 28. und 29. 1. 2004

Das Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik (IAPG), das Institut für Mess- und Auswertetechnik (IMA) der Fachhochschule Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelmshaven sowie die Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) luden in diesem Jahr zum dritten Mal zu den Oldenburger 3D-Tagen ein, einem Workshop zu den Themen optische 3D-Messtechnik, Photogrammetrie und Laser-Scanning. Die Aktualität dieses Themenkomplexes spiegelte sich im regen Zuspruch wider: ca. 180 Teilnehmer aus acht Nationen fanden sich in Oldenburg ein. Unter ihnen waren Vertreter aus den Bereichen Forschung, Systemanbieter und Anwender. Sie erwartete ein umfangreiches Programm mit mehr als 40 Vorträgen sowie einer Fachausstellung mit 18 Ständen namhafter Firmen aus dem In- und Ausland.

Eingeleitet wurde die Veranstaltung durch Grußworte des Geschäftsführers des IAPG, Prof. Dr. THOMAS LUHMANN, der Präsidentin der FH OOW, Prof. Dr. ANNE FRIEDRICHS und des niedersächsischen Ministers für Wissenschaft und Kultur LUTZ STRATMANN. Prof. Dr. RUDOLF STAIGER (Universität Duisburg–Essen) ging in seinem Einführungsvortrag auf die Frage „Was ist eigentlich Metrologie?“ ein und gab mit zahlreichen historischen Zitaten sowie beispielhaften Begriffen und Definitionen aus aktuellen Richtlinien einen Überblick über die Entwicklung dieses Fachgebietes.

Einen Schwerpunkt der Fachvorträge bildete der Themenkomplex Laserscanning.



Die Präsentationen der Sitzung *Laserscanning – Genauigkeitsuntersuchungen* zeigten, dass die Euphorie über die Laser-Scanner-Technologie der kritischen Auseinandersetzung gewichen ist. Systeme unterschiedlicher Hersteller wurden u. a. unter den Aspekten Distanzgenauigkeit (TH. KERSTEN, HAW Hamburg), Auflösungsvermögen am Objekt (W. BÖHLER, FH Mainz), Taumelfehler der vertikalen Drehachse und Auswirkungen unterschiedlicher Auftreffwinkel bzw. Materialeigenschaften der Objekte auf die Messergebnisse (TH. SCHULZ, ETH Zürich) näher beleuchtet. Vergleichende Untersuchungen zeigten, dass Laser-Scanner unterschiedlicher Hersteller und Baureihen spezifische Eigenschaften aufweisen, die sie für eine Messaufgabe prädestinieren, für eine andere weniger geeignet erscheinen lassen. Weiter wurde dargelegt, dass für Aufgaben mit hohen Genauigkeitsansprüchen detaillierte Betrachtungen eventueller Fehlereinflüsse unabdingbar sind.

In der Sitzung *Laserscanning – Anwendungsbeispiele* stellten die Referenten zahlreiche Projekte vor, die mit Hilfe der Laser-Scanner-Technologie realisiert werden konnten. Das breite Spektrum reichte von Beispielen aus der Architektur, As-Built-Dokumentation, Stadtmodellierung bis hin zu Deformationsmessungen und verdeutlichte die Selbstverständlichkeit, mit der Laser-Scanner mittlerweile für mannigfaltige Messaufgaben zum Einsatz kommen.

Die Session *Industrielle Messtechnik* beschäftigte sich vorwiegend mit der Digitalisierung industriell gefertigter Objekte mittels Musterprojektion. FREISBERG (FH Mainz) referierte über Erfahrungen bezüglich der Objekterfassung durch Musterprojektion, kombiniert mit um das Objekt verteilten, codierten Targets. Das bereits im letzten Jahr von Dr. NOTNI (Fraunhofer IOF, Jena) vorgestellte Verfahren der „Phasogrammetrie“ wurde durch Anwendungen und Genauigkeitsuntersuchungen untermauert. Das Institut bias (Bremen) stellte Eigenentwicklungen vor, die sich im Besonderen zur Digitalisierung komplexer Objekte eignen: Ein Low-cost-Streifenprojektionssystem mit kleiner Basis ist prädestiniert für die Erfassung von

Körpern mit engen Vertiefungen, ein endoskopischer Sensor kann in Hohlräume eingeführt werden und diese durch ein holografisches Verfahren digitalisieren.

Ein weiterer Schwerpunkt lag auf der Thematik Kalibrierung. Neben der Präsentation eines Kalibrierkonzeptes für scannende Messsysteme mittels beliebig im Raum angeordneter Flächen (A. RIETDORF, TU Berlin), gingen einige Referenten auf die Überprüfung photogrammetrischer 3D-Messsysteme ein. K. RAGUSE (Volkswagen AG) schilderte erste Erfahrungen bezüglich der Abnahme und Überwachung der optischen Messkette in der Automobilindustrie und erläuterte den entwickelten Prüfkörper, die Aufnahmekonstellation und die zum Einsatz kommende Ausrüstung. Frau HEIDI HASTEDT (FH Oldenburg) referierte über erste Testergebnisse, die zur richtlinienkonformen Überprüfung hoch auflösender Kameras mit einem speziell entwickelten, bildvarianten Modellansatz erzielt werden konnten. Die Firma Metronom GmbH stellte zudem einen von ihr vertriebenen, flexiblen, in einzelne Maßstäbe zerlegbaren Prüfkörper vor, der in unterschiedlichen Größen und mit verschieden gearteten Zielmarken zur Überprüfung sowohl optischer als auch taktiler Messsysteme dienen kann.

Im *Herstellerforum* wurde hauptsächlich auf neue Systeme und Konzepte im Bereich Laser-Scanning eingegangen. So hatten die Besucher die Möglichkeit, die neue Laser-Scanner-Generation inklusive Softwarelösungen der Firma Leica Geosystems kennenzulernen sowie das neue modulare und damit an spezifische Aufgabenanforderungen anpassungsfähige Lasermesssystem der Firma IQsun. Ebenso präsentierten Callidus Precision Systems GmbH, Minolta Europe GmbH, RIEGL Laser Measurement Systems und MENSİ (vertreten durch 3D Laser Systeme) ihre Produkte und deren Potenzial. Die Steinbichler Optotechnik GmbH demonstrierte die 3D-Objektdigitalisierung mittels ihres handgeführten Scanners CO-MET T-Scan. Des Weiteren widmete sich die Zoller+Fröhlich GmbH den unterschiedlichen Verarbeitungsmöglichkeiten von 3D-Laserdaten.

Die zahlreichen Präsentationen bezüglich des breiten Themenkomplexes Photogrammetrie verdeutlichten die Vielschichtigkeit dieses Messverfahrens und gaben einen Einblick in aktuelle Entwicklungen. Referiert wurde über neue Konzepte für Zeilen-Panoramascanner (U. CLAUß, Dr. CLAUß Bild- und Datentechnik), das mathematische Modell sowie das Anwendungs- und Genauigkeitspotenzial einer Panoramakamera (D. SCHNEIDER, TU Dresden), ein Visualisierungs- und Animationsbeispiel für ein photogrammetrisch erfasstes, filigranes Kunstobjekt (J. MARTIN & TH. TERBOVEN, TU Darmstadt), bis hin zu den Einsatzmöglichkeiten photogrammetrischer Messsysteme in der Fahrzeugentwicklung (G. SUILMANN, AICON 3D Systems GmbH). Darüber hinaus gingen einige Referenten auf die Möglichkeit der Deformationsuntersuchung mittels photogrammetrischer Methoden ein. Behandelt wurden Deformationen an Bauteilen, die durch Materialrisse optisch (J. LANGE RWTH Aachen) bzw. durch weitere Bildverarbeitung mit Korrelationsverfahren (R. LICHTENBERGER, LIMESS GmbH) erfassbar werden. Ein weiteres Beispiel gab K. PÖTLER, indem er den Einsatz der Nahbereichsphotogrammetrie zur Feststellung von Verformungen an Parabolrinnenkollektoren für Solarkraftwerke zur Sprache brachte.

Beeindruckend auf das Auditorium wirkte der Beitrag von G. WIORA (Daimler-Chrysler AG, Ulm), der die Realisierung einer „Online-Bündelausgleichung“ mittels hardwarecodierter FPGA-Bildverarbeitung vorstellte. Ein Industriemesssystem, bestehend aus 3 Kameras, zur synchronen Erfassung sowohl statischer als auch dynamischer Szenen präsentierte R. RIEDE (FH Oldenburg). H. VOß (Diplomand FH Oldenburg/Airbus Deutschland GmbH) schilderte seine Erfahrungen bezüglich eines photogrammetrischen Industriemesssystems mit Punktprojektion zur Oberflächenerfassung.

Beiträge zum Thema *Multisensorsysteme* lieferten CH. MUSLOW (TU Dresden) durch Genauigkeitsuntersuchungen eines integrierten terrestrischen Laserscanner-Kamera-Systems der Firma RIEGL und H.

KRESS-LORENZ (Tele-Info AG) mit der Anwendung eines Bild- und Laserdaten liefernden Sensors zur Verkehrsraumerfassung und 3D-Stadtmodellierung.

Einige Beiträge hatten die gelungene Verknüpfung photogrammetrischer Daten mit Laser-Scanner-Messungen sowie tachymetrischen Messungen zum Inhalt und beleuchteten die eventuellen Vor- und Nachteile dieser Datenfusion sowohl in technischer als auch in wirtschaftlicher Hinsicht.

Die Pausen zwischen den einzelnen Sitzungen boten genügend Raum, die begleitende Fachausstellung zu besuchen, um sich einen Überblick über auf dem Markt befindliche Messsysteme und Softwarelösungen sowie angebotene Dienstleistungen zu verschaffen.

Eine gelungene Abendveranstaltung bei traditionellem Oldenburger Grünkohl gab den Teilnehmern die Möglichkeit, den am Tage begonnenen Erfahrungsaustausch zu vertiefen und Kontakte zu pflegen.

Abschließend bleibt festzustellen, dass sich die 3. Oldenburger 3D-Tage sowohl inhaltlich als auch durch die rege Interaktion der Teilnehmer in die Erfolgsgeschichte der Veranstaltungen der vorangegangenen Jahre einreihen, bildeten sie doch in diesem Jahr erneut eine geeignete Informationsplattform, um aktuelle Entwicklungen und Forschungsergebnisse einerseits und spezielle Methoden und Lösungskonzepte andererseits vorzustellen. Somit fanden sich die Teilnehmer aus den Bereichen Forschung, Systemanbieter und Anwender im gebotenen Programm gleichermaßen wieder.

Die tadellose Organisation, die aufgrund der vorzüglichen Bewirtung und kleinen Extras wie z. B. Videoübertragung der Vorträge in den Aufenthaltsraum und einer Institutsführung kaum zu übertreffen sein dürfte, war den tatkräftigen Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen der veranstaltenden Institute, vor allem aber Frau CHRISTINA MÜLLER und Frau RAGNA BEHRENDT zu verdanken.

Die Beiträge der 3. Oldenburger 3D-Tage werden, wie bereits im vergangenen Jahr, zu einem Tagungsband zusammengetragen, der im Laufe des Jahres im Wichmann-Verlag erscheinen wird.

BIANCA KLEIN, Darmstadt

## **Workshop »eLearning in Geoinformatik und Fernerkundung – Stand und Perspektiven«**

16./17. Februar 2004 in Vechta

Veranstalter der an der Universität Vechta durchgeführten Tagung waren der Arbeitskreis „Ausbildung“ der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF), der Deutsche Dachverband für Geoinformation (DDGI) und das Kompetenzzentrum für Geoinformation in Niedersachsen (GiN). Die Organisation vor Ort lag bei PD Dr.-Ing. JOCHEN SCHIEWE, Leiter des AK „Ausbildung“ der DGPF und seinem Team.

Von den 53 Teilnehmern der Tagung waren 43 aus dem Hochschulbereich, der Rest ist in der Privatwirtschaft und bei Behörden tätig. Die Referenten und Teilnehmer der Tagung kamen überwiegend aus Deutschland, ein geringer Teil aus der Schweiz und Österreich.

Der Workshop umfasste insgesamt 15 dreißigminütige Fachvorträge sowie zwei einstündige ‚Keynote Vorträge‘. In den Kaffeepausen wurden neun Projekte in Poster- und Demo-Sessions vorgestellt. Beide Vortragstage wurden mit einer ‚Panel-Diskussion‘ beendet, in der die Eindrücke der Referenten und Zuhörer aufgearbeitet und zusammengefasst wurden.

Der erste Tag des Workshops stand unter dem Motto *Überblick & Erfahrungsberichte*. Zunächst wurden aktuelle eLearning-Verbundprojekte im Bereich Geoinformatik & Fernerkundung aus Deutschland und aus der Schweiz vorgestellt, anschließend folgten Erfahrungsberichte aus verschiedenen kleineren eLearning-Projekten. Die ‚Keynote-Lecture‘ des ersten Tages hielt JOSEF STROBL (UNIGIS Distance Learning Programme) von der Universität Salzburg zum Thema *Erfolgsfaktoren für eLearning – Lebenslanges Lernen mit Online-Medien*.

Am zweiten Tag wurden Themenkomplexe, die – unabhängig von den vermittelten fachlichen Inhalten – generell für eLearning-Aktivitäten wichtig sind, behandelt. Die Referenten des zweiten Tages kamen daher auch überwiegend aus völlig anderen Fach-

gebieten, wie etwa Psychologie, Mediendidaktik, Wirtschaftswissenschaften und Marktforschung. Der Vormittag stand im Zeichen *Mediendidaktischer Aspekte künftiger Entwicklungen*. In seinem Keynote Vortrag gab ULRICH GLOWALLA (Forschungsgruppe Instruktion und Interaktive Medien, Universität Gießen) zunächst einen umfassenden Überblick über verschiedene didaktische Ansätze im eLearning-Bereich und deren Vor- und Nachteile. Dieser Überblick wurde anschließend in drei weiteren Fachvorträgen vertieft.

Die Nachmittagssitzung unter dem Rahmenthema *Strategische Aspekte künftiger Entwicklungen* konzentrierte sich zum einen auf die Analyse der Rahmenbedingungen und der wesentlichen Faktoren, die den Erfolg und die Nachhaltigkeit von eLearning-Aktivitäten entscheidend beeinflussen, zum anderen auf die kommerzielle Verwertbarkeit von eLearning-Inhalten außerhalb der Hochschulen.

### **Ergebnisse und Trends**

Die Tagung zeigte deutlich, dass eLearning-Aktivitäten und Projekte im Bereich Geoinformatik und Fernerkundung grundsätzlich vor den gleichen Problemen stehen wie eLearning-Projekte in anderen Bereichen. Dies betrifft sowohl technische, als auch didaktische, organisatorische und finanzielle Aspekte. Nachfolgend eine Kurzzusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse und Trends:

### **Verbundprojekte**

Wichtige laufende bzw. gegenwärtig anlaufende eLearning-Verbundprojekte im Bereich Geoinformatik & Fernerkundung im deutschsprachigen Raum sind:

- „geoinformation.net“, eine Plattform für multimedia-gestützte Präsenzlehre (<http://www.geoinformation.net>);
- „gimolus“, GIS- und modellgestützte Lernmodule für umweltorientierte Studiengänge (<http://www.gimolus.de>);
- „GITTA“, Geographic Information Technology Training Alliance (Schweiz)

(<http://www.gitta.info>, <http://www.swissvirtualcampus.ch>);

- „FerGI“, Fernstudienmaterialien Geoinformatik (<http://www.fergi-online.de>).

### Didaktische Aspekte

Der Trend geht zum so genannten „Blended Learning“, also einer sinnvollen Kombination traditioneller Präsenzlehre mit eLearning-Komponenten und -instrumenten in unterschiedlichen didaktisch-methodischen Gestaltungsvarianten. Blended Learning und erst recht ‚reines‘ eLearning erfordern neue didaktische Ansätze und Instrumente. Verkannt wird hierbei vielfach, dass ‚ins Netz stellen‘ von Skripten und anderen Materialien keineswegs bereits ‚eLearning‘ darstellt. ‚Richtiges‘ eLearning/Blended Learning geht über dieses ‚ins Netz stellen‘ hinaus! Es zeichnet sich vor allem auch dadurch aus, dass aus der Bandbreite neuer Kommunikationsformen (Diskussionslisten, Chat, electronic black boards, E-Lectures u. v. a. m.) gezielt die jeweils geeigneten Instrumente ausgewählt und diese dann systematisch in eine didaktische Gesamtkonzeption integriert werden. Je stärker die eLearning-Komponente im Rahmen einer Blended Learning Veranstaltung wird, umso wichtiger wird dabei eine klare und transparente Struktur der Lehrinhalte und der Organisation der Veranstaltung. Ausgesprochen wichtig ist auch eine klare Strukturierung der Kommunikation zwischen Dozent und Teilnehmern sowie zwischen den Teilnehmern. Dabei muss stets bedacht werden, dass es auch beim eLearning unterschiedliche ‚Lerntypen‘ gibt, die ggf. unterschiedlich angesprochen und motiviert werden müssen.

### Organisation, Finanzierung, Nachhaltigkeit

Ein grundsätzliches Problem bei eLearning-Projekten an Hochschulen ist die langfristige Sicherung der Nachhaltigkeit. In den vergangenen Jahren haben Förderprogramme zahlreiche Aktivitäten in diesem Bereich kurzfristig „angeschoben“. Für die notwendige Folgephase der strukturellen Integra-

tion der erarbeiteten Inhalte und methodischen Instrumente in den Lehralltag stehen dann jedoch leider meist keine Mittel mehr zur Verfügung. Angesichts anhaltender Stellenstreichungen und Budgetkürzungen sind Universitätsinstitute jedoch gegenwärtig personell und finanziell kaum in der Lage, diese zusätzliche Arbeit zu leisten.

JOSEF STROBL zog aus diesem Dilemma in seinem Keynote Vortrag eine überraschende und provokative Schlussfolgerung. Seiner Meinung nach ist externe Förderung im Fall von eLearning in aller Regel nicht nur wenig hilfreich, sondern sogar kontraproduktiv! Hierdurch würden Strukturen aufgebaut, die nach dem Auslaufen der Förderung nicht mehr Aufrecht erhalten werden können. Die meisten erfolgreichen eLearning Projekte – wie etwa UNIGIS – seien ohne Fördermittel etabliert worden und hätten sich ohne externe Förderung am Markt durchgesetzt. STROBLs These mag manchem etwas überzogen scheinen. Sicher sollte aber darüber nachgedacht werden, ob man die knapper werdenden Fördermitteln in Zukunft nicht besser auf eine geringere Anzahl an Projekten konzentrieren sollte, wobei diese dann dafür über einen erheblich längeren Zeitraum gefördert werden müssten.

Eine potentielle Alternative zu Förderprogrammen besteht in einer halb- bzw. vollkommerziellen Zweitverwertung von eLearning Inhalten im Aus- und Fortbildungsbereich außerhalb der Hochschule. Laut einer Studie des Forschungsinstitutes für Bildungs- und Sozialökonomie (FiBS, <http://www.fibs-koeln.de/>) wird der eLearning Markt von etwa € 150–200 Mill./Jahr (Schätzung für 2001) auf voraussichtlich etwa € 300–400 Mill. im Jahr 2005 und ca. € 1 Mrd. im Jahr 2010 anwachsen. Der mittelfristig erreichbare Anteil der Hochschulen an diesem Markt wird auf ca. 10% (€ 100 Mill./Jahr) geschätzt. Die Hochschulen sieht die Studie hierbei allerdings in erster Linie als ‚Content Provider‘. Für die Eigenvermarktung von eLearning-Inhalten seien die Strukturen an Universitäten völlig ungeeignet, die Hochschulen sollten daher auf eine arbeitsteilige Kooperation mit kommerziellen eLearning-Anbietern setzen.

### Abschließende Anmerkungen zur Tagung

Der Workshop war nach meiner persönlichen Beurteilung hervorragend vorbereitet und die Organisation der Durchführung perfekt. Durch die verschiedenen Themenbereiche und die Einbeziehung von fachfremden eLearning-Experten als Referenten bekam man einen sehr guten Überblick über den ‚status quo‘, auch und gerade zu eLearning-Aspekten, die nicht-Geoinformatikspezifisch sind. Die allermeisten Vorträge waren inhaltlich ausgesprochen interessant und auch didaktisch sehr gut vorbereitet. Die überschaubare Zahl der Teilnehmer ermöglichte einen intensiven Erfahrungsaustausch am Rande der Veranstaltung. Alles in allem waren die Tagungsgebühren von ca. € 200 sehr gut angelegt!

Ein kleines Manko der Tagung war vielleicht, dass die Teilnehmer und Referenten mit wenigen Ausnahmen aus dem Hochschulbereich kamen. Für die Zukunft wäre zu wünschen, dass es den Veranstaltern gelingt, hier auch Referenten zu gewinnen, die die Sichtweise der ‚Big Players‘ aus dem Geoinformatik-Softwarebereich (z. B. ESRI, Intergraph etc.) vertreten. Auch eine etwas stärkere Internationalisierung bei der Auswahl der Referenten wäre wünschenswert: Gerade im Bereich Geoinformatik/Fernerkundung dürfte bei unseren Nachbarn in z. B. Holland, Dänemark oder England bereits einiges an Erfahrungen vorliegen, von denen man profitieren könnte.

Die Ergebnisse der Tagung werden in Kürze auf CD-ROM publiziert, ausgewählte Beiträge erscheinen in Buchform beim Wichmann-Verlag. Weitere Informationen zum Workshop unter: <http://www.fzg.uni->

[vechta.de/mitarbeiter/schiewe/dgpf—workshop04.htm](http://vechta.de/mitarbeiter/schiewe/dgpf—workshop04.htm)

THOMAS CHRISTIANSEN, Gießen

### Panoramic Photogrammetry Workshop

19.–22. Februar 2004, Dresden

An dem zum ersten Mal durchgeführten ISPRS Workshop „Panoramic Photogrammetry“ haben 54 Teilnehmer aus zehn Ländern teilgenommen. Der Workshop wurde von der TU Dresden (Prof. Dr. HANS-GERD MAAS, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung), von der Universität Stuttgart (Prof. Dr. RALF REULKE, Institut für Photogrammetrie) und von der ISPRS WG V/1 „Automation for Vision Metrology Systems and Industrial Applications“ (Prof. Dr.-Ing. THOMAS LUHMANN, FH Oldenburg) initiiert und von Prof. MAAS und seinen Mitarbeitern an der TU Dresden organisiert.

In 22 Vorträgen und einigen Demos diskutierten die verschiedenen Teilnehmer der Hochschulen, der Systemhersteller und der Anwender folgende Themen: *Aktuelle Sensorkonzepte, Geometrische Modellierung und Kalibrierung der Panoramakameras, Sphärische Kamerasysteme, Datenerfassung durch mobile Kamerasysteme, Datenerfassung und Verarbeitung terrestrischer Laserscannerdaten, Fusion von Panorama-Daten von Laserscannern und Kameras und neue Anwendungsgebiete dieser Technologien.*

Der Workshop dokumentierte, dass Panoramakameras wie z. B. die EyeScan von KST GmbH Dresden und die PanCam bzw.



SpheroCam von SpheronVR AG Kaiserslautern derzeit aufgrund aktueller Entwicklungen auf der Hardwareseite einiges Interesse in der Photogrammetrie erfahren. Sie stellen mit den großen Bildformaten bis nahezu einem Gigapixel eine interessante Alternative zur digitalen Mehrbildphotogrammetrie und zum terrestrischen Laserscanning insbesondere für die Aufnahme von Innenräumen und Plätzen dar. Durch Modellierung und Kalibrierung der Panoramakameras werden Genauigkeiten im Subpixelbereich erreicht.

Viele terrestrische Laserscanner wie z. B. Mensi GS100, Riegl LMS-Z420i und IMAGER 5003 von Zoller + Fröhlich bieten ebenfalls 360° Scanning-Optionen und erzeugen Tiefenbilder, die in ihren Eigenschaften zu optischen Bildern weitgehend komplementär sind. Einige Laserscanner bieten eine integrierte Kamera als Basis zur Texturierung der Tiefenbilder und für weitergehende Integration dieser Bilder in die 3D-Punktwolken.

Es hat sich in dieser Veranstaltung gezeigt, dass innovative Systemhersteller interessante Technologien auf den Markt bringen, die durch die Unterstützung der Hochschulen zu genauen praktischen Anwendungen geführt werden können. Die Akzeptanz auf dem Markt wird allerdings durch erfolgreiche Projekte erzielt. Die Kombination

von Panorama-Bilddaten und Laserscannern mit günstigen Inertialsystemen wird zukünftig viele neue Anwendungen im Bereich des hochauflösenden Mobile Mapping erschließen.

Die technischen Sitzungen hatten eine angenehme großzügige Zeitplanung, die zu interessanten und regen Diskussionen im Anschluss an die jeweiligen Vorträge genutzt wurde.

In unvergesslicher Erinnerung bleiben sicherlich auch die Social Events mit dem sächsisch-böhmischen Abendessen im Altmarktkeller und mit der wunderbaren Wanderung bei phantastischen Panoramen in der Sächsischen Schweiz. Die Qualität der Veranstaltung hat gezeigt, dass Dresden mit seiner angenehmen Hochschulinfrastruktur und der einladenden Umgebung ein guter Standort für zukünftige Workshops ist.

Weitere Informationen zum Workshop und der Zugriff auf die Publikationen befinden sich im Internet unter <http://www.tu-dresden.de/fghgipf/photo/PanoramicPhotogrammetryWorkshop2004/>.

Der nächste Panoramic Photogrammetry Workshop ist für Anfang 2005 geplant und wird durch die Universität Stuttgart (Prof. Dr. RALF REULKE) entweder in Berlin oder in Stuttgart organisiert.

THOMAS KERSTEN, Hamburg

## Buchbesprechungen

THOMAS LUHMANN, 2003: Nahbereichsphotogrammetrie – Grundlagen, Methoden und Anwendungen. Wichmann Verlag, Heidelberg 2003, 585 Seiten, 2., überarbeitete Auflage. ISBN 3-87907-398-8

Als Thomas Luhmann im Jahre 2000 die erste Auflage seines Lehrbuches „Nahbereichsphotogrammetrie – Grundlagen, Methoden und Anwendungen“ herausgebracht hat, bestand ein dringender Bedarf an einem modernen, aktuellen Lehrbuch zum Thema Nahbereichsphotogrammetrie. Der Autor

ist seit über 10 Jahren Professor für Photogrammetrie und Fernerkundung an der Fachhochschule Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelmshaven. Sein Werdegang und seine aktuellen Aktivitäten lassen erkennen, dass er viele theoretische und praktische Erfahrungen in dieser Fachdisziplin sammeln konnte.

Die Entwicklung preiswerter, leistungsfähiger digitaler Aufnahmetechniken in Verbindung mit automatisierten Messverfahren und immer einfacher zu bedienender Auswertesoftware hat viele neue Anwendungs-

gebiete geöffnet. Luhmann hält es daher für notwendig, auch Fachfremden den Einstieg in das komplexe Gebiet der Photogrammetrie zu erleichtern. Mit diesem Werk ist ihm ein sehr erfolgreiches Lehrbuch gelungen, das darüber hinaus auch für Studierende und in der Lehre tätige Personen sehr nützlich ist und die vorhandene Lücke der Fachlektüre schließen konnte.

Wegen der ständig fortschreitenden technologischen Entwicklung im Bereich der digitalen Bildaufnahme und Bildverarbeitung muss nach Auffassung des Autors das Lehrbuch kontinuierlich fortentwickelt werden. Daher ist bereits nach drei Jahren eine überarbeitete zweite Auflage erschienen, wobei das Konzept der ersten beibehalten worden ist. Wesentliche Ergänzungen kamen im Bereich der Kamerakalibrierung, der Aufnahmesensoren sowie bei Produktbeschreibungen kommerzieller Anbieter hinzu, soweit sie dem Autor aktualisiert zur Verfügung gestellt wurden.

Das Buch schildert Grundlagen, Methoden und Anwendungen sowohl der klassischen, als auch der modernen Nahbereichsphotogrammetrie, auch über die Grenzen des Nahbereichs hinaus. Es umfasst das ganze Spektrum der Nahbereichsphotogrammetrie mittels Kleinflugzeugen bis hin zum Einsatz eines Elektronenrastermikroskops, dessen Erläuterung in der neuen Auflage erweitert worden ist, so dass nun ein tiefer Einblick in dessen Theorie gegeben wird.

Die grundlegende Einführung in die Fragestellungen der Photogrammetrie unter Berücksichtigung besonderer Aspekte des Nahbereichs und eines geschichtlichen Rückblicks, ermöglicht auch Fachfremden einen leichten Einstieg in die Materie. Nach diesem einführenden Kapitel folgt eine komplette Darstellung der mathematischen Grundlagen, insbesondere der zu Grunde liegenden Geometrie und der Ausgleichsrechnung. Das Kapitel über Aufnahmetechniken beginnt mit geometrischen Grundlagen des Aufnahmevorganges, beschreibt eine umfangreiche Sammlung verschiedenster Anwendungsmöglichkeiten und instrumenteller Lösungen und endet mit den für

den Nahbereich wichtigen Themen der Signalisierung und der Beleuchtung. Darauf folgt ein Kapitel über analytische Verfahren zur Bildorientierung und Objektrekonstruktion für die Auswertung von Einzelbildern, Stereobildern und für die immer häufiger angewendete Auswertung von Mehrbildverbänden. In dem Kapitel zur digitalen Bildverarbeitung werden schwerpunktmäßig solche Verfahren erläutert, die der messtechnischen Auswertung und der 3D-Objektrekonstruktion dienen. In dem nachfolgenden Kapitel werden photogrammetrische Messsysteme für den Nahbereich vorgestellt. In einem eigenen Kapitel werden Messanordnungen und Lösungskonzepte für spezielle Aufgaben beschrieben. Thema des letzten Kapitels sind die Einsatzmöglichkeiten in wichtigen Anwendungsgebieten der Nahbereichsphotogrammetrie, wie Architektur und Denkmalpflege, Ingenieur- und Bauwesen, Industrie und Medizin, wodurch besonders der Fachfremde einen Einblick in die weite Bandbreite der Anwendungsmöglichkeiten erhält. Zur Ergänzung wird auf das inzwischen auch im Wichmann Verlag erschienene Buch „Nahbereichsphotogrammetrie in der Praxis“ mit Thomas Luhmann als Herausgeber verwiesen.

Das abschließende, nach Themen geordnete und erweiterte Literaturverzeichnis ist sehr umfangreich und liefert so einen Hinweis auf Möglichkeiten für ein tiefer gehendes Studium einzelner Themen.

Dieses Lehrbuch bringt dem Leser auch durch seine gute Gliederung und eine Vielzahl von Grafiken im Zweifarbdruk die komplexe Thematik der Nahbereichsphotogrammetrie leicht verständlich näher.

In der überarbeiteten Ausgabe werden einige Sichtweisen und Präsentationen wie die Darstellung der Parameter der inneren Orientierung als Kalibriermatrix einer Kamera oder die Modellierung des Abbildungsvorganges durch eine Projektionsmatrix aus dem Gebiete der projektiven Geometrie angesprochen, die im Bereich der *Computer Vision* Anwendung finden. Eine tiefer gehende Ausführung der damit verbundenen Methoden in einer neuen Überarbeitung wäre wünschenswert, da insbesondere

diese Verfahren im Bereich der Nahbereichs-photogrammetrie effiziente Anwendungsmöglichkeiten liefern.

Für dieses gelungene Lehrbuch gebührt Thomas Luhmann erneut Anerkennung und Dank. Schon die erste Ausgabe wurde von einer Vielzahl von Studenten, Doktoranden und Lehrpersonen als Unterstützung herangezogen und so sollte dieses Buch für jeden Studenten zugänglich sein. Es ist zu hoffen, dass der Autor die Herausforderung annimmt und das Lehrbuch immer wieder aktualisiert und in naher Zukunft eine englischsprachige Ausgabe dieses Lehrbuches erscheinen wird.

KIRSTEN WOLFF, Zürich

THOMAS LUHMANN (Hrsg.), 2003: Photogrammetrie, Laserscanning, optische 3D-Messtechnik. Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2003. Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg, 232 Seiten. ISBN 3-87907-404-6

Die zweiten, erfolgreichen Oldenburger 3D-Tage zum Themenkomplex der 3D-Objekt-erfassung und Modellierung fand 2003 an der Fachhochschule Oldenburg statt (siehe auch Bericht PFG 4/2003, Seite 349). Das Ziel der Veranstaltung war die Zusammenführung von Fachleuten, die sich mit der dreidimensionalen optischen Erfassung von Punkten und Oberflächen beschäftigen, unabhängig von der Dimension des Objektes, der speziellen Messmethode und des Anwendungsgebietes. Gegenüber der ersten Veranstaltung im Jahre 2002 wurde der Themenbereich erweitert und umfasst nun die Bereiche Photogrammetrie, Laserscanning und Optische 3D-Messtechnik mit den Fragestellungen der Objektrekonstruktion, der Oberflächenbeschreibung und der Modellierung. Die Behandlung der drei oben genannten Bereiche in einem Band ermöglicht den direkten Vergleich der verschiedenen Verfahren.

Die 3D-Messtechnik hat sich in den letzten Jahren von einer einzelpunktförmigen 3D-Aufnahme hin zu einer flächigen Erfassung der Entfernungsdaten in Form von

3D-Punktwolken entwickelt. In einem einflussreichen Beitrag wird in diesem Zusammenhang von einem Paradigmenwechsel in der Auswertung und Verarbeitung der Daten gesprochen. Die daraus resultierenden Veränderungen und Besonderheiten der Aufnahme, Speicherung und Auswertung von 3D-Punktwolken sind Thema der 25 Beiträge, die in die folgenden Themenblöcke gegliedert sind:

- Industrielle Messtechnik,
- Qualität und Kalibrierung,
- Laserscanning (Modellierung und Anwendung),
- Photogrammetrie,
- Herstellerforum und
- Objektaufnahme (mit alternativen Methoden).

Den Schwerpunkt der Beiträge bilden die Anwendungsmöglichkeiten der verschiedenen 3D-Messverfahren. Ihr praktischer Einsatz, ihr Potential, ihre Vor- und Nachteile, auch im Vergleich miteinander, treten in den Vordergrund. Dabei werden die neueren 3D-Messverfahren (Laserscanning, Streifenprojektion) im Gegensatz zu der anfänglichen Euphorie, nicht als Ersatz, sondern als Ergänzung zu den klassischen Aufnahmeverfahren gesehen.

Mannigfaltige Beispiele machen die weite Bandbreite der Anwendungsgebiete deutlich. Sie reichen von einer industriellen Rundumvermessung von komplexen Objekten mittels Streifenprojektion, über Bestandsaufnahmen in den Bereichen Architektur, Archäologie und Denkmalpflege, Deformationsmessungen, qualitativer Beurteilungen und medizinischen Anwendungen, bis zu einer geologischen Kluftkartierung. Dabei spiegelt sich die Aktualität der Laserscanning-Verfahren für den Nahbereich in der grossen Anzahl von Beispielen wider.

Verschiedene Firmensoftwareprodukte werden anhand von Anwendungs- und Qualitätstests vorgestellt und erläutert. Zu den neu vorgestellten Systemen gehören eine digitale Messkamera und ein geometrisches Modell einer Panoramakamera. Möglichkeiten der Fusion geometrischer und radio-



metrischer Daten werden für eine bessere Registrierung und Integrierung von Punktwolken und für eine bessere Visualisierung der aufgenommenen 3D-Daten behandelt.

In einigen Beiträgen wird erörtert, welche Anforderungen durch die flächenförmige Struktur der Daten an die Auswertesoftware gestellt und inwieweit sie erfüllt werden oder Verbesserungen notwendig sind. Auch wird diskutiert, welche Veränderung des Berufsbildes und des Lehrauftrages der Hochschulen daraus resultieren.

Die Mischung der Autoren wird insbesondere auch durch den letzten Beitrag unterstrichen, der eine Bestandsaufnahme aus der Sicht der Beteiligten der verschiedenen Disziplinen untersucht. Durch die Vertreter der Fachdisziplin Architektur wird im Vergleich zu den anderen Beiträgen die Sichtweise von Nichtgeodäten auf das Potential der Photogrammetrie und des Laserscannings als 3D-Messverfahren in der Architekturaufnahme herausgestellt.

Die Sammlung stellt eine gute Mischung aus Arbeiten der verschiedenen Bereiche (Anwender, Systemhersteller und Wissenschaftler) dar. Schon aus dieser Zusammensetzung ist zu erkennen, dass das Ziel dieses Bandes in erster Linie die Erörterung des aktuellen Standes der 3D-Messverfahren

und ihres weiten Anwendungsfeldes ist. Der Leser erhält einen guten Überblick über die Brandbreite der aktuellen Einsatzgebiete der Messverfahren, insbesondere des Laserscannings in Kombination mit klassischen Verfahren. Er bekommt einen Eindruck von dem Arbeitsablauf, der Problematik und der zukünftigen Entwicklung, darüber hinaus aber auch einen Einblick in aktuelle Fragestellungen der Forschungsarbeiten. Wie der Herausgeber schon im Vorwort schreibt, ist somit das Ziel, ein gemeinsames Forum für Wissenschaftler, Systemhersteller und Anwender zu schaffen, durch die zahlreichen und vielfältigen Fachbeiträge erreicht werden.

Als ein Fazit der Beiträge kann festgehalten werden, dass die Verbesserung der Software zur Weiterverarbeitung der aufgenommenen Daten auch in der Zukunft von grosser Bedeutung sein wird, da der Vorteil der schnellen Datenerfassung durch die neuen Systeme nach wie vor durch die zeitaufwendige Datenverarbeitung verloren geht. Man darf also gespannt sein, welche Beiträge zu diesem Thema im nächsten Band erscheinen werden.

KIRSTEN WOLFF, Zürich

## Vorankündigungen

### 2004

1./2. Juli: Münsteraner GI-Tage 2004: „**Geoinformation und Mobilität – von der Forschung zur praktischen Anwendung**“ in Münster. Auskünfte durch: Adam Sliwinski, Institut für Geoinformatik, Universität Münster, e-mail: [info@gi-tage.de](mailto:info@gi-tage.de), Tel.: +49-251-83-30103, <http://ifgi.uni-muenster.de>

10.–12. Juli: **ISPRS IC WG II/IV 5<sup>th</sup> Joint ICA/ ISPRS/ EuroGeographics Workshop on Incremental Updating and Versioning of Spatial Data Bases in Istanbul**. Auskünfte durch: Dr. Ammatzia Peled, Co-chair IC

WG II/IV, Tel.: +972-4-8-240-148, Fax: +972-4-8-249-605, e-mail: [peled@geo.hai-fa.ac.il](mailto:peled@geo.hai-fa.ac.il) und [rjb@rjb-3d.com](mailto:rjb@rjb-3d.com), <http://geo.hai-fa.ac.il/~icaupdt>

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

18.–25. Juli: **35<sup>th</sup> COSPAR Assembly in Paris**. Auskünfte durch: COSPAR Secretariat,

Tel.: +33-1-45 25 06 79, Fax: +33-1-40 50 98 27, e-mail: [cospar@cosparhq.org](mailto:cospar@cosparhq.org) und [cospar@paris7.jussieu.fr](mailto:cospar@paris7.jussieu.fr), <http://www.cosparhq.org/>

2.–6. August: 15<sup>th</sup> International Symposium on **Earth Tides** in **Ottawa**, Kanada. Auskünfte durch: Prof. Dr. Shuzo Takemoto, e-mail: [takemoto@kugi.kyoto-u.ac.jp](mailto:takemoto@kugi.kyoto-u.ac.jp) [www.eas.yorku.ca/ETS-2004/ets.html](http://www.eas.yorku.ca/ETS-2004/ets.html)

23.–25. August: 11<sup>th</sup> International Symposium on **Spatial Data Handling (SDH 2004)** in **Leicester**, UK. Auskünfte durch: SDH 2004, e-mail: [sdh2004@le.ac.uk](mailto:sdh2004@le.ac.uk), [www.geog.le.ac.uk/sdh2004](http://www.geog.le.ac.uk/sdh2004)

25.–28. August: **EuroScience Open Forum 2004** in **Stockholm**. Auskünfte durch: EuroScience, e-mail: [info@esof2004.org](mailto:info@esof2004.org) [www.esof2004.org/](http://www.esof2004.org/)

25.–28. August: International Conference on **E-business and Telecommunication Networks (ICETE 2004)** in **Setubal**, Portugal. Auskünfte durch: ICETE Secretariat, e-mail: [secretariat@icete.org](mailto:secretariat@icete.org), [www.icete.org/](http://www.icete.org/)

30. August–1. September: **DAGM'04** – 26<sup>th</sup> Pattern Recognition Symposium; Max Planck Institute for Biological Cybernetics and University of Tübingen, Germany, in **Tübingen**. Auskünfte durch: <http://dagm.tuebingen.mpg.de>, e-mail: [dagm@tuebingen.mpg.de](mailto:dagm@tuebingen.mpg.de), Tel.: +49-7071-601 551

7.–10. September: **RSPSoc2004 – Mapping and Resources Management** in **Aberdeen**, UK. Auskünfte durch: RSPSoc, e-mail: [rspsoc@nottingham.ac.uk](mailto:rspsoc@nottingham.ac.uk); [www.rspsoc.org](http://www.rspsoc.org)

15.–17. September: **24. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF** mit dem Leitthema »**Photogrammetrie-Fernerkundung-Geoinformation: Instrumentarium zur nachhaltigen Entwicklung von Landschaften**« in **Halle/Saale**. Auskünfte durch: Sekretär der DGPF, Dr.–Ing. Manfred Wiggenhagen, e-mail: [wigge@ipi.uni-hannover.de](mailto:wigge@ipi.uni-hannover.de) und Frau Prof. Dr. Cornelia Gläßer, e-mail: [glaesser@geographie.uni-halle.de](mailto:glaesser@geographie.uni-halle.de)

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

21./22. September: **AgA-Tagung** „Arbeitsgruppe **Automation in der Kartographie** der DGfK“ im Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung der Stadt **Hamburg**. Auskünfte und Einreichung von Beiträgen: [www.ikg.uni-hannover.de/aga](http://www.ikg.uni-hannover.de/aga)

27.–30. September: 14<sup>th</sup> International Symposium on **Remote Sensing and Development** in **Damaskus**, Syrien. Auskünfte durch: GORS, Tel.: +963-11-221 8765, Fax: +963-11-391-0700, e-mail: [gors@gors-syr.org](mailto:gors@gors-syr.org), [www.gors-syr.org](http://www.gors-syr.org)

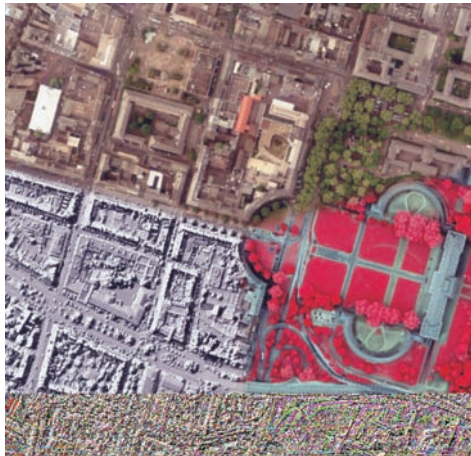
3.–6. Oktober: International Conference on **Laser-Scanner for Forest and Landscape Assessment – Instruments, Processing Methods and Applications** in **Freiburg** im Breisgau. Auskünfte durch: Institut für Waldwachstum und Abteilung für Fernerkundung und Landschaftsinformationssysteme der Universität Freiburg, Tennenbacher Str. 4, 79106 Freiburg i. Br., Tel.: +49-761-203-3694, Fax: +49-761-203-3701, Prof. Dr. Barbara Koch, e-mail: [Barbara.Koch@felis.uni-freiburg.de](mailto:Barbara.Koch@felis.uni-freiburg.de) Prof. Dr. Heinrich Spiecker, e-mail: [instww@uni-freiburg.de](mailto:instww@uni-freiburg.de) Michael Thies, e-mail: [Michael.Thies@iww.uni-freiburg.de](mailto:Michael.Thies@iww.uni-freiburg.de) [www.natscan.de](http://www.natscan.de), [www.felis.uni-freiburg.de](http://www.felis.uni-freiburg.de)

3.–7. Oktober: **FIG Regional Conference for Asia and the Pacific** in **Jakarta**, Indonesien. Auskünfte durch: FIG Office, e-mail: [fig@fig.net](mailto:fig@fig.net), [www.ddl.org/figtree/events/events2004.htm](http://www.ddl.org/figtree/events/events2004.htm)

7./8. Oktober: 1<sup>th</sup> Göttingen GIS & Remote Sensing Days: **GGRS2004 Environmental Studies** in **Göttingen**. Auskünfte durch: Mrs. Catrin Kollatschny, Conference secretary, Geographisches Institut, Abt. Kartographie, GIS & Fernerkundung, Goldschmidtstr. 5, 37077 Göttingen, Tel.: +49-551-39-9805, Fax: +49-551-39-8020, e-mail: [GGRS@uni-goettingen.de](mailto:GGRS@uni-goettingen.de), [www.ggrs.uni-goettingen.de](http://www.ggrs.uni-goettingen.de)

## Zum Titelbild

### True-Ortho-Photo, Innenstadt Koblenz – erfasst am 12. Mai 2003



Der graue Bildausschnitt (links unten) gibt das Oberflächenmodell in der häufig genutzten Schummerungsdarstellung wieder. Die beiden anderen Bildausschnitte stellen das RGB-Bild und das CIR-Bild in einer „True“-Ortho-Projektion dar.

Mit einem Sensor-System FALCON II der Firma TopoSys wurden gleichzeitig die Laser Daten (First Echo, Last Echo, Intensity) und die Bilddaten in vier Spektralkanälen erfasst. Aus diesen Rohdaten wurde primär ein DGM aus Last Echo berechnet. Zusätzlich wurde aus einer Kombination von Last Echo und First Echo ein DOM berechnet, das die Grundlage für die Ortho-Projektion der optischen Daten bildete und das zu den auf dem Titelbild wiedergegebenen Bildern führte. Die gewählte Bildkomposition soll zum Ausdruck bringen, dass es sich nicht um „einfache“ Bilder handelt, sondern dass hier präzise drei-dimensionale Daten mit zeitgleichen multispektralen Daten verknüpft sind.

Mit FALCON II können bei üblichen Bedingungen Höhenmodelle mit einer Auflösung von 0,5 m und True-Ortho-Bilder mit einer Auflösung von 0,25 m erzeugt werden. Durch die Nadirorientierung des Scanners

und den steilen Blickwinkel werden die Straßenflächen vollständig wiedergegeben und Gebäude ohne Schrägsicht dargestellt. Die sonst aus der Berechnung eines Orthophotos auf der Basis eines DGM entstehenden Abschattungen fehlen vollständig.

Die Daten zum Bild wurden im Rahmen einer Rhein-Befliegung von Iffezheim bis Bonn (ca. 310 km Wasserstraße) erfasst. Die Befliegung erfolgte im April/Mai 2003 und für den engen Flusslauf im August 2003, um den extrem niedrigen Wasserstand zur Erfassung möglichst großer trocken gefallener Bereiche des Rheinbetts zu nutzen. Nur so ließen sich die wertvollen Daten der Bühnen, Bühnenfelder und sonstiger Flachwasserbereiche schnell und wirtschaftlich erfassen.

In der Bundesanstalt für Gewässerkunde in Koblenz werden für vielfältigste Aufgabenstellungen der quantitativen Gewässerkunde, der Ökologie aber auch des Wasserbaus vermehrt großräumig, hoch auflösende und genaue Digitale Geländemodelle von Wasserläufen (DGM-Ws) der Bundeswasserstraßen, in der Regel im Auftrag der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes aufgebaut. Schon aus Gründen der Wirtschaftlichkeit handelt es sich dabei häufig um Gemeinschaftsprojekte unter Einbeziehung der Wasserwirtschafts- und Landesvermessungsverwaltungen der Länder.

Die DGM-Ws sollen neben dem Gewässerbett mit der Wasserwechselzone das Flussvorland der potentiellen Überschwemmungsgebiete einschließlich der abflusswirksamen Bauwerke wie z. B. Bühnen abbilden. Zur Erfassung der erforderlichen Geländedaten bei möglichst niedrigen Wasserständen in der vegetationsarmen Zeit wird aktuell die Laser-Scanner-Technik routinemäßig eingesetzt und das Gelände mit einer Mindestpunktdichte von 1 Punkt pro 1 m × 1 m erfasst. Parallel zur Laser-Scanner-Datenerfassung erfolgt die Aufzeichnung digitaler Bilddaten zur Generierung von True-Ortho-Photos mit einer Mindest-

auflösung von  $0,5\text{ m} \times 0,5\text{ m}$  als Color-Infrarotbild (CIR-Bild) und möglichst auch als Echtfarbenbild. Das CIR-Bild dient vorrangig zur Bestimmung der Wasser-Land-Grenze zum Zeitpunkt der Befliegung.

TopoSys erfasst mit seinem selbst entwickelten „Airborne Laser Scanner ALS“ Typ FALCON hochgenaue digitale Höhenmodelle für ein sehr breites Anwendungsspektrum. Die hohe Auflösung erscheint auf den ersten Blick sehr aufwendig, erspart aber erhebliche Zusatzaufwendungen für photogrammetrische Auswertungen oder für terrestrische Vermessungen. Wie Beispiele zeigen, können mit diesem Verfahren unter Nutzung einer sehr hohen Messdichte Projektkosten fast halbiert werden.

Die gleichzeitig erfassten optischen Daten ermöglichen sehr weitgehende Auswertungen und bieten eine ideale Grundlage für vielfältige Darstellungen.

Mit der selbst entwickelten Software, die auf die speziellen Eigenschaften des

FALCON Sensor Systems zugeschnitten ist, kann TopoSys nahezu alle Anforderungen an eine moderne, dreidimensionale Datengrundlage erfüllen. Wiederkehrende Aufträge aus ganz Europa von Finnland bis Portugal und Griechenland zeigen die Zuverlässigkeit der TopoSys Produkte.

#### Bundesanstalt für Gewässerkunde

Ref. M5 Geodäsie

Am Mainzer Tor 1, 56068 Koblenz

Tel.: 0261-1306-0, Fax: 0261-1306-5302

e-mail: [posteingang@bafg.de](mailto:posteingang@bafg.de)

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

#### TopoSys

##### Topographische Systemdaten GmbH

Obere Stegwiesen 26, 88400 Biberach

an der Riss

Tel.: 07351-47402-0, Fax: 07351-47402-31

e-mail: [info@toposys.com](mailto:info@toposys.com)

Internet: <http://www.toposys.com>



de Gruyter

Karl Kraus  
**Photogrammetrie**  
 Band 1  
 Geometrische Informationen aus Photographien und Laserscanneraufnahmen  
 1. Auflage

Karl Kraus  
**Photogrammetrie**  
**Band 1: Geometrische Informationen aus Photographien und Laserscanneraufnahmen**  
 7., vollst. bearb. und erw. Aufl. 2004.  
 XXIV, 516 Seiten. 230 Abb. Broschur.  
 € 42,95 [D] / sFr 69,-  
 ISBN 3-11-017708-0

*Bitte bestellen Sie bei Ihrer Buchhandlung oder direkt beim Verlag. Preisänderung vorbehalten.*



**de Gruyter**  
 Berlin · New York

[www.deGruyter.de/Newsletter](http://www.deGruyter.de/Newsletter)

## 4. Oldenburger 3D-Tage

Optische 3D-Messtechnik  
 Photogrammetrie  
 Laserscanning

**02./03. Februar 2005**  
 Oldenburg (Oldb.)

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

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

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

**Einreichen eines Vortrages:  
 bis 01.10.2004**