

PRG

Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation

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

Jahrgang 2006, Heft 3

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

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

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



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



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

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



International Society
for Photogrammetry
and Remote Sensing

DAGM

Deutsche Arbeits-
gemeinschaft für
Mustererkennung e.V.



Herausgeber:

© 2006 Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) e.V.
Präsident: Prof. Dr.-Ing. Thomas Luhmann, Fachhochschule Oldenburg Ostfriesland Wilhelmshaven, Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik, Ofener Str. 16, D-26121 Oldenburg, Tel.: +49-441-7708-3172, e-mail: Praesident@dgpf.de, www.dgpf.de
Geschäftsstelle: Dr. Klaus-Ulrich Komp, c/o EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH, Ostmarkstraße 92, D-48145 Münster, e-mail: klaus.komp@eftas.com

Published by:

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

© Gedruckt auf alterungsbeständigem Papier nach ISO 9706-1994

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

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

Verantwortlich für den Inhalt der Beiträge sind die Autoren.

ISSN 1432-8364

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

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

Erscheinungsweise: 7 Hefte pro Jahrgang.

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

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

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

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

PFG – Jahrgang 2006, Heft 3

Inhaltsverzeichnis

Originalbeiträge

KONECNY, G.: Issues of Digital Mapping	173
KÖLBL, O.: Übertragungsfunktionen und exakte Bildrestaurierung bei digitalen Luftbildaufnahmen	183
MEINEL, G. & HERNIG, A.: Erhebung der Bodenversiegelung auf Grundlage des ATKIS-Basis-DLM – Möglichkeiten und Grenzen	195
ITZEROTT, S. & KADEN, K.: Spektrale Normkurven – eine notwendige Voraussetzung für die Klassifizierung der Fruchtartenverteilung aus Fernerkundungsdaten ...	205
LAUDIEN, R. & BARETH, G.: Multitemporal Hyperspectral Data Analysis for Regional Detection of Plant Diseases by using a Tractor- and an Airborne-based Spectrometer	217
KOCH, K.-R.: ICM Algorithm for the Bayesian Reconstruction of Tomographic Images	229

Berichte

Berichte

5. Oldenburger 3D-Tage	239
IEEE	241
GEOSS	241
ICRSE	243
IAA	243
SPIE	244

Hochschulnachrichten

Universität Bonn – R. STÜBER	246
Universität Osnabrück – FERGI	247
– GIN	248

Vorankündigungen	249
------------------------	-----

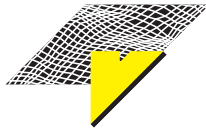
Persönliches – Prof. KARL KRAUS †	254
---	-----

Zum Titelbild	255
---------------------	-----

Neuerscheinungen	256
------------------------	-----



Landesvermessungsamt Baden-Württemberg



Bei der Einrichtung des neuen **Digitalen Geländemodells** (DGM) durch das Landesvermessungsamt Baden-Württemberg wurde im Jahr 2005 ein wichtiges Etappenziel erreicht:

Im April 2005 konnte die Laserscanbefliegung für die gesamte Landesfläche mit ca. 37.000 km² abgeschlossen werden. Seit August 2005 liegt der komplette Datenbestand der Laserscanaufnahme beim Landesvermessungsamt vor.

Daraus entsteht bis Ende 2007 ein landesweit flächendeckendes DGM, das mit einer Gitterweite ab 1 m auch feine Geländestrukturen in einer bisher unerreichten Qualität abbildet. In Gebieten mit ausreichender Dichte von Punkten auf der Geländeoberfläche liegt die empirisch ermittelte Höhen Genauigkeit durchschnittlich bei ca. 2 dm.

Das Anwendungsspektrum ist vielfältig und reicht von der Eigennutzung zur Entzerrung von Luftbildern und Ableitung von Höhenlinien für digitale topographische Karten über die Erstellung landesweiter Hochwassergefahrenkarten durch die Was-

serwirtschaftsverwaltung bis hin zu Anwendungen in der Bauleitplanung, Archäologie, Geologie, Trassenplanung, Tourismusbranche und Kampfmittelbeseitigung.

Das Landesvermessungsamt produziert zudem jährlich für ca. 20% der Landesfläche Digitale Orthophotos (DOP) in einer Bodenauflösung von 25 cm.

Die analogen Luftbilder im Bildmaßstab ca. 1:18 000 wurden im Frühsommer 2005 erstmals in Farbe aufgenommen. Anfang 2006 werden die farbigen digitalen Orthophotos des Befliegungsblocks „Schwarzwald“ vorliegen. Nach weiteren 4 Befliegungsjahren wird Ende 2009 das gesamte Land auf DOP in Farbe abgebildet sein. Ein großes Interesse aus allen Anwendungsbe reichen an DOP in Farbe bestätigen die Notwendigkeit farbigen Bildmaterials.

Sämtliche Datenbestände, von den Rohdaten der Laserscanaufnahme bis zum endgültigen DGM in unterschiedlichen Gitterweiten sowie Luftbilder und Orthophotos in digitaler bzw. analoger Form können über das Internet oder über das Leistungs- und Servicezentrum des Landesvermessungsamts Baden-Württemberg bezogen werden.

Landesvermessungsamt
Baden-Württemberg
Büchsenstraße 54, 70174 Stuttgart
Tel.: 0711-123-0, Fax: 0711-123-2979
www.lv-bw.de, e-mail:
poststelle.vermbw@vermbw.bwl.de

Issues of Digital Mapping

GOTTFRIED KONECNY, Hannover

Keywords: photogrammetry, cartography, digital mapping

Abstract: The traditional role of photogrammetric restitution has been fundamentally changed by the availability of new technical developments:

Digital cameras now compete with the established technology of analog aerial cameras. A new competitor is Pictometry and Multivision for gathering images by oblique images. The production of orthophotos as substitute for vector information has proven to be more economical. The most expensive part in orthophoto generation is the creation of digital elevation models. For DEM creation alternative methods have become possible, such as radar mapping and laser scanning. Finally vector data are now not aimed at CAD products, but as topologically structured data for use in a GIS. Photogrammetric hardware and software industry is currently in the process of providing direct shapefile extraction. The aim of photogrammetric data acquisition has changed from a map orientation toward the goal to provide GIS data.

Zusammenfassung: Zum Thema *Digitale Kartierung*. Die traditionelle Verfahrensweise der photogrammetrischen Auswertung zur Herstellung von Kartenunterlagen hat sich durch neue technische Entwicklungen grundlegend verändert.

Digitale Kamerasysteme stehen heute in Konkurrenz zu den bewährten auf Film basierten Luftbildkameras. Neue Schrägaufnahmeverfahren, wie Pictometry und Multivision, stellen die Notwendigkeit der bisherigen Luftaufnahme infrage.

Die Produktion von Orthophotos als Strichkartenersatz ist weit wirtschaftlicher als die Herstellung von Vektorinformationen. Der teuerste Aspekt bei der Herstellung von Orthophotos ist die photogrammetrische Erfassung digitaler Höhenmodelle. Dafür kommen aber auch Alternativmethoden, wie die Radarabtastung und das Laserscanning infrage. Schließlich sind neuerdings die Vektorinformationen in Form von topologisch strukturierten Daten für eine Verwendung im GIS gefragt. Die photogrammetrische Geräte- und Software herstellende Industrie ist gegenwärtig dabei, die direkte Shapefile-Datenerfassung zu realisieren. Das Ziel der photogrammetrischen Datenerfassung hat sich von der Strichkartenorientierung zur Bereitstellung von GIS-Daten gewandelt.

1 Introduction

Mapping by traditional field surveys has been replaced in the 20th century using tools of aerial photogrammetry, which is now an efficiently operating, highly automated technology. But more recently during the past decade new technological aspects have been introduced to improve the mapping technology even further. Some of these trends are discussed in this paper. (see KONECNY 2003).

2 Digital Cameras versus Scanned Film Camera Images

Ever since the progress of U.S. military and that of the U.S. space program in the 1960's and 1970's digital cameras have been used to transmit images from orbits. More recently the consumer market has made a breakthrough for 5 M pixel and more digital amateur cameras.

To compete with the high level requirements of film based aerial survey cameras

Tab. 1: Parameters of Operational Digital Aerial Cameras.

Type	no. of pixels	pixel size	ground coverage at h = 1000 m	h/b	$\sigma_{x,y}$	σ_z
Vexcel Ultracam D	7500 × 11 500	9 μm	675 m × 1035 m at f = 100 mm	3.7	+/- 9 cm	+/- 16.6 cm
Z/I Intergraph DMC	7600 × 13 824	12 μm	768 m × 1383.4 m at f = 120 mm	3.3	+/- 10 cm	+/- 16.5 cm
Leica ADS 40	12 000 lateral longitudinal 28.4° forward nadir 14.2° aft	6.5 μm staggered	swath 1924 m at h = 1540 m (15 cm groundpixels)	1.26	+/- 15 cm	+/- 20 cm

with one highly optimized wide angle objective a 900 M pixel (30 000 × 30 000) camera would be required, which is still too costly to realize, unless shortcuts are taken.

There is the option to use several lenses for imaging onto smaller CCD area array chips. This option has been realized in the Z/I Intergraph DMC with 7 lenses and the Vexcel Ultracam.

Another option is to develop the camera in form of a CCD line scanner. This option, used by satellite systems, was chosen for the Leica ADS 40 camera.

The technical details of these commercial and operational camera systems are given in table 1. (see GRAHAM, HINZ 1999, LEBERL 2005, TRINDER 2005).

The imaged areas by the multilense area chips have to be resampled and fitted together according to boresight calibration information by subsequent image processing. The fitted image corresponds to resampled area arrays for a usable photogrammetric image of 7600 (longitudinal) × 13 824 (lateral) pixels for the DMC and of 7500 (longitudinal) × 11 500 (lateral) pixels for the Ultracam. Even forward motion compensation is included during image capture. These cameras are in principle independent of GPS and IMU recordings.

The radiometric resolution of digital sensor elements is by far superior (11 bit grey levels) to that of the scanned film, for which due to exposure conditions usually only 6 bit of grey level information can be retrieved for a particular exposure setting.

The same holds true for linear camera arrays. Nevertheless the resultant scanner images need to be corrected for aircraft forward motion and aircraft attitude, which are recorded by a rather expensive IMU system. It has to register the 6 orientation components in real time during the flight. Linear array camera systems therefore depend during their operation on the speed of the aircraft and its attitude changes, setting a limit to the achievable ground sampling distance, depending on the frequency at which the IMU records can be collected in form of angular differences. For that reason the ADS 40 may have difficulties to achieve the same ground sample distance for fast low level flights, as obtainable for cameras using area chips exposed at a specific time interval.

The standard flight planning procedures for analog aerial cameras need of course modifications when digital cameras are used, since the coverage on the ground depends on the chip sizes and the different focal lengths utilized for them.

The other issue is the achievable accuracy on the ground for position and elevation. Accuracy is of course a function of the ground sample size and the base-height ratio, depending not only on the lense opening angle, but also on the method of data extraction (automatic or manual). No doubt extensive accuracy tests will be made in the coming years by independent bodies to clarify the accuracy issue.

Another aspect is the product obtained by digital cameras: While cameras with area



Fig. 1: Pictometry high resolution oblique „Neighbourhood Image“.

arrays, after boresight calibration and pre-processing can be treated in almost the same way as analog images for aerial triangulation, DEM extraction, orthophoto generation and line mapping, the line scanner cameras more clearly depend on the processing algorithms of the manufacturers, who of course are ready to license the appropriate software packages for processing.

The digital camera technology using Canon, Kodak or Rolleimetric cameras do not quite reach the resolution and geometric accuracy requirements of the DMC, the Ultracam and the ADS 40, since they have not been specifically designed for photogrammetric mapping. Nevertheless Canon, Kodak and Rolleimetric cameras have been successfully used for mapping applications in developing countries at reduced geometric requirements. Since these cameras can be accommodated in small aircraft (Cessna, Piper) their use is possible in remote areas, for which the mobilization of a special survey aircraft is too costly.



Fig. 2: Zoom Capability to View Pictometry Oblique Images.



Pictometry View from East



Pictometry View from West

Fig. 3: View Pictometry Images from different sides with measurement capability.

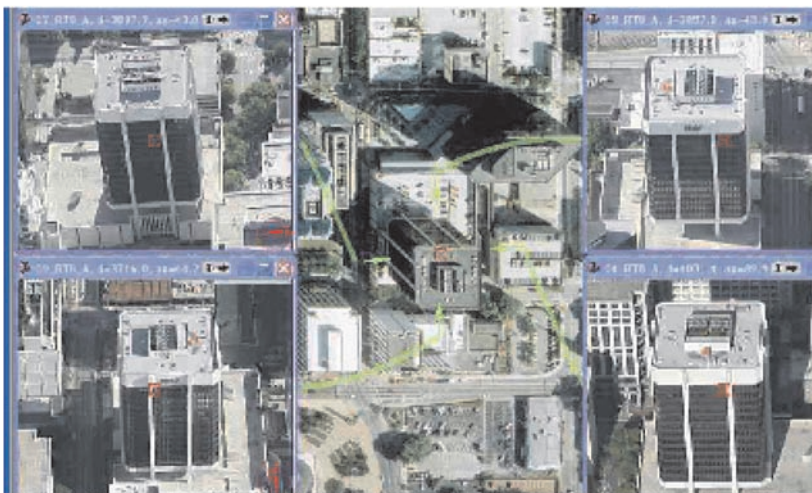


Fig. 4: Multivision Viewer with orthophoto in the center and 4 oblique images of the location in the orthophoto.

Of course the cost aspect is even more important, since urban centers in developing countries can seldom afford a line mapping effort.

The costs for aerial mapping are based on the number of photos (or stereomodels) required to cover a specific area. A summary of costs of the components of an aerial photogrammetric project is given in Tab. 2. It is realized, that cost assessments are a bit risky, since market competition plays an essential role. Nevertheless the stated figures may give a relative comparison.

Mobilization for an aerial photography project is based on a fixed cost depending on the accessibility of an area, which can be high for a remote area lacking a mobilization infrastructure for operating a survey aircraft.

Scanning of photos is not required for use of digital cameras, while the costs per image, aerial triangulation, the generation of a digital elevation model, the orthophoto production and the mosaicking of orthophotos are similar for analog and digital images. However, the availability of digital cameras is still limited due to their high investment cost exceeding 1 M \$.

Tab. 2: Orthophoto Mapping versus Line Mapping Costs (international average).

Process	Remarks	Cost per Aerial Photo [S]
aerial photography mobilization	constant fee per block \$ 5000	–
aerial photo		10
scanning of photos		15
aerial triangulation and block adjustment		25
digital elevation model		120
digital orthophoto production		30
mosaicking of orthophotos		20
on screen digitization in 2D or 3D	rural area 10 ^h per image at 50 \$/hr	500
	urban area 100 ^h per image	5000

The costs for generation of line maps using 2D procedures (for rural areas) and using 3D procedures (for urban areas) are quite high, depending on labour cost. Many mapping consortia in Europe and North America have therefore subcontracted the line mapping tasks to countries, where labour costs are still low (e. g. Eastern Europe, India and China).

Tabs. 3 and 4 compare the total cost for an urban aerial mapping project covering 250 km² at different GSD according to average international prices.

The total bidding prices for a mapping contract still depend on the following factors:

- production costs (as seen in Tabs. 3 and 4)
- field verification add 30 %
- overhead add 20 %
- profit add 10 %
- risks add 40 %

Tab. 3: Costs for a City Map covering 250 km² with 20 cm ground pixels, scanned with 15 µm from photography at image scale 1 : 13333.

Process	no. of photos	cost [S]
aerial photography	83	4 830
scanning		1 245
aerial triangulation		2 075
DEM		9 960
digital orthophoto		2 490
mosaicking		1 660
total orthophoto cost		22 260
line map digitizing		124 500
total line map cost		146 760

Tab. 4: Costs for a City Map covering 250 km² with 10 cm ground pixels, scanned with 15 µm from photography at image scale 1 : 1666.

Process	no. of photos	cost [S]
aerial photography	83	7 320
scanning		4 980
aerial triangulation		8 300
DEM		39 840
digital orthophoto		9 960
matching of orthophotos		6 640
total orthophoto cost		77 040
line map digitizing		498 000
total line map cost		575 040

This is why a bid may be based on a cost plus 100% price. This may of course vary on the competitive economic situation.

When comparing pricing for a **city map 1 : 2000** produced from 20 cm ground pixels, this line map may be contracted for \$ 293 520. The **orthophoto** coverage would cost \$ 44 420.

A **city map 1 : 1000** produced from 10 cm ground pixels would be contracted for \$ 1 150 080 and the **orthophoto** for \$ 154 080.

This compares to an alternate **ground survey** procedure using GPS/DGPS and total stations at \$ 6400 per km² for \$ 1 600 000.

Photogrammetric mapping is still less costly than ground surveys, and orthophoto production is the most affordable procedure.

Particularly in urban areas orthophotos pose the difficulty, that the geometry of the orthophoto is based on ground elevations. Therefore the tops of buildings or bridges are displaced in the orthophoto. A solution to this problem may be the production of so called "True Orthophotos", in which the tops of the buildings or objects, produced by a digital surface model, may be shifted to obtain the true orthophoto. This, however requires manual intervention, which is costly unless automatic procedures for these orthophotos are available. The objects to be shifted must first be digitized in 3D. E. g. the company Inpho has effective software to minimize the effort in doing this. But still the costs for producing a true orthophoto may be 2 or 3 times as high as for the standard orthophoto product (see SCHICKLER 2003).

The clients, deciding on a particular product strategy should therefore seriously consider the questions:

- What ground sample distance is ultimately needed under financial constraints (e. g. utility manholes may not be visible with 20 cm ground pixels, but utility features may be more easily determined using GPS/DGPS ground surveys. For the building topography a 20 cm ground pixel may be sufficient).
- Is it necessary to rectify roof top levels to be able to refer the orthophoto to cadastral

(and most often not updated) boundary information.

4 Digital Elevation Models and Laser Scanning

From the cost comparison of photogrammetric processes it becomes clear, that one of the high cost factors is the generation of a digital elevation model by photogrammetric means (either image matching, semiautomatic grid DEM measurement or manual contouring). If a digital elevation model is already available (presumably it does not change very often) the costs for orthophoto production may therefore be significantly reduced.

This is the case, if an older contour map is digitized and interpolated into a rectangular DEM grid, which can be further interpolated for orthophoto production. Nevertheless it should also be realized, that contour maps are often generalized from maps 1 : 10 000 or smaller, and thus have a lower accuracy.

There are also alternative methods available to generate digital elevation models and digital surface models.

As has recently been shown by the Intermap Co. from Calgary, Alberta, Canada a digital elevation model with ± 0.5 m accuracy has been generated for one third of the area of Britain (50 000 km²) and with ± 1 m accuracy for the additional area of two thirds of Britain (100 000 km²) with 5 m posting at a cost of 6 \$/km² per customer with the Star-3i airborne radar in the "Nextmap Britain" project.

Satellite radar systems, such as those flown on the Space Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM) provided a nearly worldwide DEM at 90 m posting with ± 5 m accuracy in areas not affected by radar shadows and layover in mountain areas. For the U.S. the posting of the data has been reduced to 30 m. Even though the posting and the accuracy is still rather low, the information may be utilized with near vertical high resolution satellite images (Quickbird, Ikonos) to produce digital satellite image orthophotos of 2 to 3 m accuracy, if near ver-

tical images are used. Also Google Earth makes use of the information for viewing (see HENDERSON 1998).

Another technology is airborne LIDAR. At present about 140 Lidar systems operate worldwide (most of them are made by Optech, Leica and TopEye). Newer LIDAR systems operating at 100 KHz pulses are able to generate digital surface models (first pulse return), digital elevation models (last pulse return) and intensity images.

Depending on the flying height ranging between 100 m and 6000 m submeter to 10 m postings may be generated with dm to m accuracy (see ACKERMANN 1999 and BALTSAVIAS 1999).

The problems with LIDAR data are caused by the fact, that the GPS/DGPS Continuously Operating Reference Systems (CORS) and the IMU data are generally not timed accurately enough with respect to the more rapid laser pulses. Furthermore the identification of ground points in the laser

image is not as accurate as in optical images.

Therefore cross flights must be used to mosaic the laser images. To geocode them the use of elevated targets is the best practical solution. In the future the simultaneous operation combined with optical digital cameras is expected.

5 CAD Mapping versus GIS Shapefile Mapping

Most digital mapping efforts have in the past served automated map production in form of Autocad or Microstation files. With these a great number of feature codes have been used with annotated symbology added to the graphics, which does not have relational intelligence.

As mapping must now be considered as a base for the analysis capabilities of a GIS, there is the need to adapt the photogrammetric data acquisition into an object orient-



Fig. 6: Vector Graphics with Label Points.

ed data structure. As GIS shapefiles carry the data topology and give access to attribute data entries into object relational databases, photogrammetric data acquisition should use these advantages (see Figs. 6 and 7).

There were early attempts for this type of data acquisition in Zeiss Phocus and in Wild System 9.

For new data acquisition several hardware/software manufacturers now provide or attempt to provide practical solutions for direct shapefile creation during the 3D digitisation process in digital photogrammetric work stations:

- Inpho-DATM
- KLT
- Leica LPS
- Socet Set 3D
- Z/I Intergraph

As many mapping companies already own efficient workstation software, e. g. the

Microstation based Z/I Image station software, or the use of Bentley's Geographics, the alternative to the direct solution is the conversion of Microstation or Autocad data into shape files, even though this is not a fully automated process.

While the topology required can be generated automatically into shapefiles for most of the features, the intelligence must be entered manually into attributes attached to label points.

This will help to reduce the required number of feature codes, which in any case are impractical to update.

This semiautomatic conversion procedure is in any case required for already collected datasets in Microstation or Autocad files.

The GIS concept, as demonstrated in the ESRI ArcGIS platform, clearly aims at the generation of an updatable object oriented geodatabase solution. Photogrammetric Operations must now be aimed toward this goal.



Fig. 7: Shapefile Map.

The advantage of a proper geodatabase design lies in the possibility to separate point coordinate information for specific points (e. g. boundary points) from topologically related line and area information. This permits to generate the topology of land parcels, buildings and other objects, regardless of the accuracy with which the nodes (boundary points) have been determined. It is therefore possible to use rather low resolution ortho-images with ground pixel sizes ranging from 20 cm to 2 m to create the object topology first, and to improve the point coordinates in a sporadic manner by DGPS ground surveys, when the need arises in transactions.

The object relational database attributes attached to points, line segments, areas and defined objects are the basis for GIS analysis.

6 Conclusions

The present state of technological development in photogrammetry is marked by a transition from an established, but isolated and self sufficient mapping technology into a GIS integration concept. The product is not a map any more, but base data within a GIS.

Analog aerial camera technology is gradually replaced by digital camera technology. Cost effective GIS products, such as orthophotos contained in a geodatabase in raster form are combined with vector data in superposition. A combination of survey methods ranging from terrestrial DGPS uses for certain features to 3D photogrammetric data acquisition and laser scanning offers a cost optimised approach for new mapping or its updating.

Finally, the GIS data base concepts should be the guidelines along which photogrammetric products should be develop-

ed. Photogrammetry is presented with a new challenge by these developments.

References

- ACKERMANN, F., 1999: Airborne Laser Scanning, present status and future Expectations. – ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, **54** (2–3): 64–67.
- BALTSAVIAS, E., 1999: Airborne Laser Scanning: basic relations and formulas. – ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, **54** (2–3): 199–214.
- ESRI, 1998: Shapefile Technical Description. – ESRI White Paper.
- GRAHAM, R. & KOH, A.: Digital Aerial Survey, Theory and Practice. ISBN 1-870325-98-2.
- HENDERSON, F.M. & LEWIS, A.J., 1998: Principles and Applications of Imaging Radar. – Manual of Remote Sensing, Third Edition, Vol. 2. John Wiley & Sons, New York. ISBN 0-471-29496-3.
- HINZ, A., 1999: The Z/I Digital Aerial Camera System. – Photogrammetric Week '99'. Wichmann Verlag, Heidelberg.
- KONECNY, G., 2003: Geoinformation. – Taylor & Francis, London. ISBN 04-15237955.
- LEBERL, F. & GRUBER, M., 2005: Ultra Cam D – understanding some noteworthy capabilities. – Photogrammetric Week. Wichmann Verlag Heidelberg.
- SCHICKLER, W. & THORPE, A., 2002: Operational Procedure for Automatic True Orthophoto Generation. – IAPRS, Vol. 32/4. ISPRS Comm. IV Symposium on GIS.
- TRINDER, J., 2005: Characteristics of New Generation Digital Aerial Cameras. Map Middle East Conference. – Conference Proceedings.

Address of the author:

Prof. em. Dr.-Ing. Dr.-Ing. h.c. mult.
GOTTFRIED KONECNY
Universität Hannover, Institut für Photogrammetrie und GeoInformation
Nienburger Str. 1, D-30167 Hannover

Manuskript eingereicht: Dezember 2005
Angenommen: Januar 2006

Übertragungsfunktionen und exakte Bildrestaurierung bei digitalen Luftbildaufnahmen

OTTO KÖLBL, Lausanne, Schweiz

Keywords: photogrammetry, exact image restoration, MTF, transfer functions, digital aerial images, digital aerial cameras, DMC, ADS40

Zusammenfassung: Im Folgenden wird ein Verfahren zur pixelscharfen Bildrestaurierung von digitalen Luftbildaufnahmen entwickelt. Das Verfahren basiert auf der Berechnung der Verwaschungsfunktion an Kanten. Die Verwaschungsfunktion für Bildprofile wird als Bandmatrix angesetzt, die nun auch streng invertiert werden kann und damit eine exakte Rekonstruktion der Objektfunktion erlaubt. Aus der inversen Verwaschungsfunktion für Profile wird in der Folge ein zweidimensionales Filter zur Bildrestaurierung ermittelt. Das Verfahren wurde an Bildern der digitalen Luftbildkamern ADS40 und DMC angewendet und auch an mittelformatigen Kamern. Ganz grob lässt sich damit die Bildauflösung um den Faktor 2 steigern. Es setzt voraus, dass hochwertige Aufnahmeobjektive eingesetzt werden, so dass Objekte, die nur durch ein Pixel getrennt sind, im Bild nicht völlig verschmelzen.

Résumé: *Fonction de transfert et restauration exacte des images prises par des caméras numériques aériennes.* La procédure proposée permet de restaurer des photos aériennes numériques à une netteté d'un pixel près. La procédure se base sur le calcul du mollifier (spread function) déterminé sur des bords d'objets. Le mollifier d'un profil d'image est écrit comme matrice de bande qui peut être invertie rigoureusement, ce qui permet de reconstruire exactement la fonction d'objet à

Summary: *Transfer functions and exact image restoration for digital aerial images.* A procedure is proposed for a pixel sharp restoration of digital aerial photographs. The procedure is based on the computation of the image spread function on edges. The spread function for image profiles is set up as band matrix which can be rigorously inverted, which allows an exact reconstruction of the object function. Subsequently a two-dimensional Filter is computed from the inverse of the spread function. The procedure was applied to images of the digital aerial cameras ADS40 and DMC and also to medium format cameras. Roughly it allows increasing the image resolution for about a factor 2. However this requires the use of high performance lenses so that objects, which are separated by only one pixel do not fuse completely.

partir de celle de l'image. Par la suite un filtre bidimensionnel est calculé à partir de l'inverse du mollifier. Cette procédure a été appliquée à des images de caméras numériques aériennes et aussi à des caméras de format moyen. Elle permet d'augmenter la qualité des images approximativement d'un facteur deux. Cela exige cependant l'utilisation d'objectifs de prise de vue de haute qualité, ainsi 2 objets séparés par un seul pixel ne doivent pas fusionner complètement.

1 Einführung

Aufnahmen mit digitalen Kamern weisen, wie auch Filmaufnahmen, eine gewisse Unschärfe auf, die vor allem durch das Aufnahmeobjektiv, aber auch durch die Bewegungsunschärfe und Ladungsdiffusion zwischen

den Bildsensoren verursacht werden. In der Vergangenheit wurden verschiedene Verfahren zur Bildverbesserung entwickelt, welche vielfach auf Fourier-Transformationen basieren. Auch recht einfache Bildverarbeitungsprogramme offerieren derartige Möglichkeiten; dabei wird im Allgemeinen mit

einer einfachen Kantenverstärkung gearbeitet; es handelt sich hierbei um Näherungslösungen, die sogar zu skurrilen Nebeneffekten führen können.

Im Folgenden wird ein Ansatz entwickelt, der die Verwaschungsfunktion nicht über die Fouriertransformierte berechnet, sondern unmittelbar im Ortsraum. Durch Inversion der Verwaschungsmatrix lässt sich dann aus der Bildmatrix streng die Objektmatrix rekonstruieren, also das Bild nach Elimination der Verwaschungseffekte. Diese Rekonstruktion eines pixelscharfen Bildes erfolgt auf Grund der spezifischen Filter.

Damit wird bei der Bildrestaurierung völlig anders vorgegangen als in der gängigen Praxis, wobei die Verwaschungsfunktion meist durch eine Gauß'sche Glockenkurve angenähert wird (vgl. REULKE et al. 2004, LEBERL et al. 2002, ALAMÛS et al. 2005). Die Glockenkurve wird dort meist nur durch einen einzigen Parameter definiert und berechnet sich aus den an Kanten ermittelten Gradienten. Bei dem hier vorgeschlagenen Verfahren wird die Verwaschungsfunktion nicht nur auf Grund des maximalen Böschungswinkels an der Kante berechnet, sondern es werden zudem die Streulichtverluste und die Verwaschung im weiteren Verlauf der Kante einbezogen. Die Verwaschungsfunktion wird durch ein Polynom approximiert, ohne dass eine vordefinierte mathematische Funktion nötig wäre. Damit ergibt sich eine große Flexibilität und es wird eine höhere Genauigkeit bei der Bildrestaurierung erzielt, da diese mathematisch exakt erfolgt.

Bei der Bildrestaurierung werden die idealisierten Grauwerte des Objekts aus dem verwaschenen Bild berechnet. Das bedingt eine Multiplikation der Pixelwerte im Bild mit Faktoren zwischen 2 bis 5 und selbst mehr, je nach der Größe der Verwaschung; damit wird natürlich zudem das Rauschen verstärkt. Verfahren zur Bildrestaurierung sind daher nur sehr begrenzt für Filmaufnahmen geeignet; digitale Sensoren weisen dagegen ein wesentlich geringeres Rauschen auf. Es sollte jedoch auch bei digitalen Sensoren das Rauschen und der Dynamikbe-

reich der Aufnahmen in die Überlegungen mit einbezogen werden.

Die hier gezeigten Bildbeispiele wurden für kleine monochromatische Bildausschnitte berechnet, veranschaulichen aber sehr gut die Effizienz des Verfahrens. Für eine Anwendung über ein ganzes Luftbild wäre zu berücksichtigen, dass die Bildqualität im Allgemeinen im Zentrum des Bildes am höchsten ist und gegen den Bildrand graduell abnimmt. Es darf daher für eine digitale Aufnahme nicht mit einem konstanten Filter über das gesamte Bild gerechnet werden. Ferner wird die Bildqualität bei verschiedenen Objektiven durch die chromatische Aberration zusätzlich beeinträchtigt. Diese ist separat zu korrigieren, was bei Farb- oder Multispektralaufnahmen recht gut möglich ist. Zu berücksichtigen ist ferner, dass die Abbildungsqualität bei Luftbildern zeitlich stark variieren kann, da das Aufnahmesystem durch Temperatureffekte und Druckunterschiede beim Bildflug beeinträchtigt werden kann. Die Korrekturfilter sind daher entsprechend anzupassen. Mit vorliegender Arbeit wird ein Weg zu einer Steigerung der Bildqualität aufgezeigt; die eigentliche Umsetzung für die Praxis bedingt aber die Erstellung entsprechender Rechenprogramme. Zweifellos werden sich im Zuge einer operationellen Anwendung noch weitere Verfeinerungen des Ansatzes ergeben.

Im Folgenden werden zunächst das hier gewählte Vorgehen zur Berechnung der Verwaschungsfunktion und deren Inverse behandelt. Daran anschließend werden Bildbeispiele für die gängigsten Luftbildkamern aufgezeigt, soweit dafür Bildmaterial vorlag; es handelt sich um die ADS40 von Leica und die DMC von Z/I Imaging. Überlegungen werden auch angestellt, inwieweit das Verfahren für die mittelformatigen Kamern Hasselblad H1 und die Rollei AIC modular LS angewendet werden können.

Vorliegende Arbeit entstand auf Grund einer Einladung für einen Vortrag zu der Photogrammetrischen Woche 2005 durch DIETER FRITSCH zum Thema „Transferfunktionen in image data collection“ (vgl. KÖLBL

2005). Allerdings konnte die spezifische Arbeit zu dem Thema und insbesondere die Bildrestaurierung noch nicht in der schriftlichen Fassung voll behandelt werden. Wegen der Aktualität des Themas wurde daher ein spezieller Beitrag für diese Zeitschrift verfasst.

2 Die Verwaschungsfunktion und ihre Inverse

Die Verwaschungsfunktion kann als Bild eines idealen Punktes im Raum aufgefasst werden. Man kann auch davon ausgehen, dass es sich im Objektraum um ein Rechtecksignal handelt, das ein ganzes Pixel ausfüllt. Mittels Faltung kann das Bild eines beliebigen Objekts berechnet werden; dabei überlagern sich die einzelnen Punktbilder und müssen entsprechend aufaddiert werden. Aus praktischen Gründen wird dies hier nur für ein Bildprofil demonstriert.

Die Verwaschungsfunktion erlaubt also mittels Faltung aus der Objektfunktion die Bildfunktion zu berechnen (vgl. Abb. 1). Bezeichnet man die idealisierten Pixelwerte im Objektraum mit Obj_i , die entsprechenden Pixelwerte im Bildraum mit Img_i und beschreibt man die Verwaschung als numerisches Filter ($F_i = \dots B, A, Z, A, B, \dots$) dann gilt folgender Zusammenhang in Matrizenform:

$$Img_i = Fb_{i,j} * Obj_j \tag{1}$$

Hierbei wird das numerische Filter einer einzigen Zeile F_i als Bandmatrix $Fb_{i,j}$ eingeführt:

$$Fb_{i,j} = \begin{matrix} \dots & B, & A, & Z, & A, & B, & \dots \\ \dots & \dots & B, & A, & Z, & A, & B, & \dots \\ \dots & \dots & \dots & B, & A, & Z, & A, & B, & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & B, & A, & Z, & A, & B, & \dots \end{matrix} \tag{2}$$

Das Filter selbst wurde hier mit 5 Elementen beschrieben, kann aber beliebig ausgedehnt werden; Z ist der Zentralwert, A und B sind die Nachbarwerte. So lässt sich die Verwaschungsfunktion bei der ADS40 mit den Werten $Z = 0.66$, $A = 0.15$ und $B = 0.02$ beschreiben. Die Summe der Filterwerte einer Zeile oder Spalte der Matrix Fb ($Z + 2A + 2B$) muss natürlich eins sein, um die Lichtenergie konstant zu halten.

Aus Gleichung (1) lässt sich nun auch streng die Inverse der Filterfunktion berechnen und somit die Objekthelligkeit aus den Pixelwerten im Bild; man erhält damit ein pixelscharfes Bild:

$$Obj_i = Fb_{i,j}^{-1} * Img_j \tag{3}$$

Dies setzt voraus, dass die Bandmatrix Fb invertierbar ist, also die Determinante nicht null wird. Eine Bedingung hierfür ist, dass A kleiner ist als $Z/2$, das heisst die Verwaschungsfunktion muss relativ schmal sein. Dies ist verständlich, denn bei größerem A verschmelzen bereits 2 Objekte im Abstand von nur zwei Pixel und können folglich nicht mehr getrennt werden; eine korrekte Bildrestaurierung ist dann nicht mehr möglich. Solange also obige Bedingung erfüllt ist, kann die Invertierung der Filterfunktion exakt erfolgen; erst bei einer breiteren Verwaschungsfunktion ist das Problem als „ill-

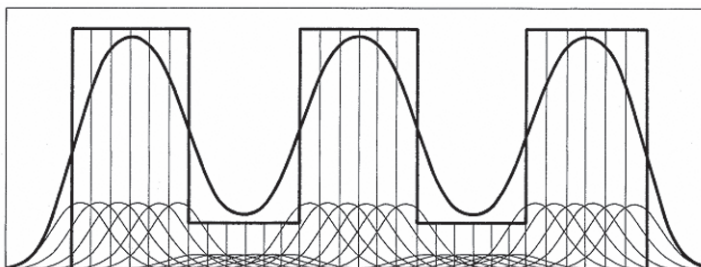


Abb. 1: Bildaufbau durch die Überlagerung der Verwaschungsfunktionen der einzelnen Rechtecksignale und deren Interferenz (Faltung-dünne Linien). Die dicken Linien stellen die Objektfunktion, hier eine Rechteckfunktion und die Bildfunktion (geschwungene Linie) dar.

posed“ zu betrachten (vgl. REULKE et al. 2004).

3 Praktische Berechnung der Verwaschungsfunktion und deren Inverse

Die Überlegungen zur Ermittlung der Verwaschungsfunktion beschränkten sich hier auf Profile. An sich lassen sich diese auch auf den zweidimensionalen Bildraum ausdehnen. Allerdings ist man bei der praktischen Berechnung gezwungen Annahmen über die Objektfunktion zu machen, um die Verwaschungsfunktion zu ermitteln. Relativ einfach ist es, wenn spezielle Signaltafeln, wie etwa der Siemensstern, zur Verfügung stehen. Im Allgemeinen wird man sich jedoch mit der Kantenganalyse begnügen müssen; in diesem Fall kann genauso gut mit Profilen gearbeitet werden, wobei Unterschiede in Flugrichtung und senkrecht dazu gegebenenfalls zu berücksichtigen wären.

Praktisch wurden möglichst scharfe Kanten in den Bildern in Zeilenrichtung der Bildmatrix und senkrecht dazu eruiert und die Pixelwerte ausgelesen. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Objektkanten weitgehend mit den Pixelkanten übereinstimmen. Eine Verschiebung des Objektrandes gegenüber der Pixelbegrenzung führt zu einer Asymmetrie, lässt sich aber numerisch berücksichtigen. Ferner wurde die Objektfunktion

normiert, um die Berechnung zu vereinfachen. Tab.1 veranschaulicht das rechnerische Vorgehen.

Liegt die Verwaschungsfunktion in numerischer Form vor, so lässt sich daraus die Modulationsübertragungsfunktion mittels Fouriertransformation berechnen. Dieser kommt bei der hier entwickelten Bildrestaurierung keine Bedeutung zu, erlaubt aber die Zuverlässigkeit der berechneten Verwaschungsfunktion durch den Vergleich mit Labormessungen zu überprüfen, wie dies für die ADS40 (Abb. 2) und die Hasselblad H1 (Abb. 9) möglich war.

Die Inverse der Verwaschungsfunktion ergibt sich aus der Inversen Bandmatrix F_b , wobei wieder die Zeilen die eigentlichen Werte des linearen Filters darstellen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Bandmatrix der Verwaschungsfunktion für die Berechnung abgeschnitten werden muss. An sich kann dies als Approximation betrachtet werden. Wird diese aber entsprechend groß gewählt, beispielsweise 20×20 Elemente, so ist dieser Randeffekt vernachlässigbar.

Für die Berechnung eines pixelscharfen Bildes wäre es aber unzureichend, nur ein lineares Filter zu verwenden. Hierfür wird selbstverständlich ein zweidimensionales Filter benötigt. Das aus der Matrizeninversion abgeleitete lineare Filter gibt nur die Zeilen- bzw. Spaltensummen des 2D Filters wieder. Damit lässt sich aber ein Gleichungs-

Tab. 1: Erläuterung der numerischen Berechnung der Verwaschungsfunktion: Kolonne 1 gibt die angenommene Helligkeit im Objektraum wieder, Kolonne 2 die normierten Werte; die Summen in Kolonne 3 ergeben sich aus der Matrizenmultiplikation (vgl. Formel (1)) und stellen die normierten Pixelwerte im Bildraum dar, also nach der Verwaschung. Kolonne 4 ergibt sich durch Aufsummierung aus Kolonne 3. In Kolonne 5 werden die effektiv gemessenen Pixelwerte eines Bildprofils ausgewiesen (Beispiel ADS40) und in Kolonne 6 die entsprechend normierten Werte. Die Filterwerte in Kolonne 7 lassen sich dann direkt aus den Werten der Kolonne 6 ermitteln.

Obj _j ^{eff} effekt.	Obj _j ^{norm} normiert	F _{b_{ij}} * Obj _j ^{norm} für normierte Objekte	F _{b_{ij}} * Obj _j ^{norm} Summe aus (3)	Img _i ^{eff} effekt.	Img _i ^{norm} norm.	Filter Werte
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
150	+1	B+A+Z+A+B	= Z + 2A + 2B	150	+ 1.00	B = 0.02
150	+1	. B+A+Z+A-B	= Z + 2A	148	+ 0.96	A = 0.15
150	+1	. . B+A+Z-A-B	= Z	133	+ 0.66	Z = 0.66
50	-1	. . . B+A-Z-A-B	= Z	67	- 0.66	Z = 0.66
50	-1	. . . . B-A-Z-A-B	= - Z - 2A	52	- 0.96	A = 0.15
50	-1	. . . . . B-A-Z-A-B	= - Z - 2A - 2B	50	- 1.00	B = 0.02

system aufstellen, um die einzelnen Filterwerte zu berechnen, wobei Zwischenwerte als Interpolationswerte der Hauptachsen aufgefasst werden können. Damit ist dann die Berechnung eines kompletten zweidimensionalen Filters möglich.

4 Verschiedene Bildbeispiele

Für die praktischen Untersuchungen wurden die verschiedenen Hersteller von Luftbildkamern und Fliegerfirmen um Bildmaterial angefragt. Freundlicherweise hatte die Firma Leica Geosystems Bilder von der ADS 40 zur Verfügung gestellt, desgleichen die Swisstopo, Bilder mit der DMC die Firma Z/I Imaging und das Institut Cartogràfic de Catalunya; letzteres stellte zu dem Luftbilder mit der digitalen Rollei Kammer zur Verfügung, wie auch die Firma Memier in Grenoble. Die Luftbilder mit der Hasselblad 903 mit Biogon und der H1 stammen vom Institut für Photogrammetrie und der Firma „UW+R SA“ in Nyon, Schweiz.

Bei sämtlichen Kamern wurden nur monochromatische Aufnahmen analysiert. Bei der ADS40 lässt sich das Verfahren problemlos auf Farbregistrierungen ausdehnen; demgegenüber ist die Hauptkammer bei der DMC für den panchromatischen Bereich ausgelegt, die Farbkanäle weisen eine wesentlich geringere Auflösung auf und die

Farbbilder werden über einen „pansharpening“ Prozess erhalten; ähnliches gilt für die mittelformatigen Kamern Rollei und Hasselblad, bei denen ein Bayerfilter verwendet wird. Das heisst die einzelnen Elemente des Flächensensors werden abwechselnd mit roten grünen und blauen Filtern versehen, meist überwiegen die grünen Filter.

4.1 Bildrestaurierung bei der ADS40 von Leica Geosystems

Die ADS40 ist eine Zeilenkammer mit drei panchromatischen Liniensensoren (vorwärts, senkrecht und rückwärts gerichtet) und 4 Farbkanälen (vgl. u. a. SANDAU 2005). Die Zeilensensoren weisen 12.000 Pixel auf, wobei die panchromatischen Kanäle über doppelte Zeilensensoren verfügen. Der zweite Sensor ist gegenüber dem ersten um ein halbes Pixel seitlich versetzt und um 4 Pixel in Flugrichtung („gestagerte“ Anordnung). Damit wird an sich die Pixelauflösung in Zeilenrichtung verdoppelt. Durch die Vorwärtsbewegung des Flugzeugs wird ein zweidimensionales Bild erhalten; auf Grund der hohen Zeilenauslese (800 Hz) kann die Auflösung in Flugrichtung bei einer entsprechenden Fluggeschwindigkeit erhöht werden. Die ADS40 weist damit mit einem einzigen Aufnahmekopf die höchste Aufnahmekapazität aller bisher gängigen digitalen Luftbildkamern auf.

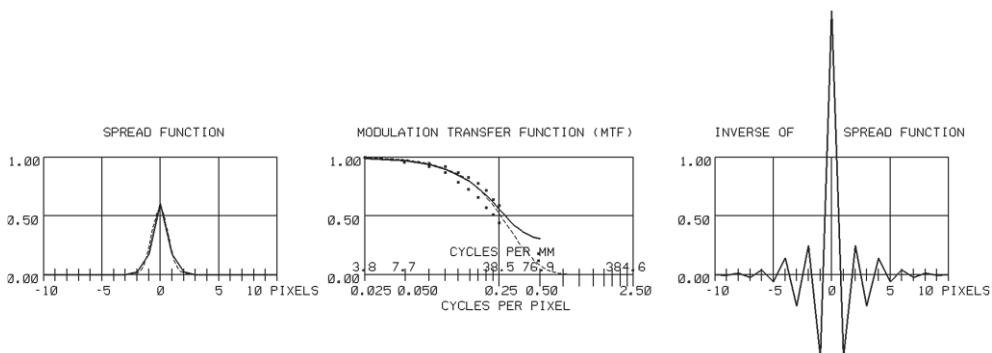


Abb. 2: Links die Verwaschungsfunktion mit überlagerter Gaußfunktion (punktiert) mit einer Spreizung (Full Width at Half Maximum: FWHM) von 2.0 Pixel. Im Diagramm der Modulationsübertragungsfunktion werden auch die Ergebnisse von Labormessungen (Quadrate) ausgewiesen sowie die MTF, welche der Gaußfunktion mit der Spreizung von 2 Pixel entspricht (gestrichelt). Rechts findet sich die Inverse der Verwaschungsfunktion.

Die telezentrische Linse hat eine Brennweite von 62.5 mm, Öffnung 1 : 4, die Pixelgröße beträgt 6.5 μm , es werden 12-bit Werte registriert. Das Prinzip der Zeilenkammer bedingt eine sehr genaue Registrierung der Position und der Winkelneigungen der Aufnahmeplattform. Dies erfolgt mittels eines Trägheits- und Kreiselsystems (IMU) und eines GPS Systems. Die Aufnahmeplattform wird auch weitgehend stabilisiert, allerdings müssen die Rohbilder um verbleibende Restabweichungen korrigiert werden.

Bei der Analyse des Bildflugs Waldkirch wurden die in Abb. 2 wiedergegebene Verwaschungsfunktion und Modulationsübertragungsfunktion erhalten; zudem wird die Inverse der Verwaschungsfunktion ausgewiesen.

Wie man erkennt, stimmt die Modulationsübertragungsfunktion sehr gut mit Messungen des Kammerherstellers überein (vgl. SCHUSTER & BRAUNECKER 2000). Aus der Inversen der Verwaschungsfunktion wurde ein zweidimensionales Filter abgeleitet (vgl. Abb. 4), mit dem eine beträchtliche Kon-

trastverstärkung am Beispiel des Bahnkörpers erreicht wird (vgl. Abb. 3).

Betrachtet man die einzelnen Werte des Filters, dann erkennt man, dass der Zentralwert des Filters 3.011 beträgt; dementsprechend wird bei der Filterung bzw. bei der Restaurierung des Bildes das zentrale Pixel jeweils mit 3 multipliziert und damit auch das Rauschen des Bildes um einen Faktor 3 verstärkt. Dies ist bei digitalen Bildern mit ihrem geringen Rauschen durchaus zulässig, aber bei Luftbildern mit einem 5–10-mal stärkeren Rauschen nicht mehr sinnvoll.

Vom Bildflug Vahigen mit der ADS40 lagen zudem die Rohbilder vor. Bei diesem Bildflug überlagern sich die Bildzeilen in Flugrichtung um ca. 50 %, d. h. es wurde mit doppelter Bildauflösung geflogen. Bei der Ermittlung der Verwaschungsfunktion wurde ein Zentralwert $Z = 0.38$, $A = 0.14$ und $B = 0.06$ erhalten. Da A noch kleiner als 50 % des Zentralwerts ist, kann die Inverse der Verwaschungsfunktion und das exakte Restaurationsfilter berechnet werden. Der Vollständigkeit halber werden hier noch die numerischen Werte der Verwaschungsfunk-

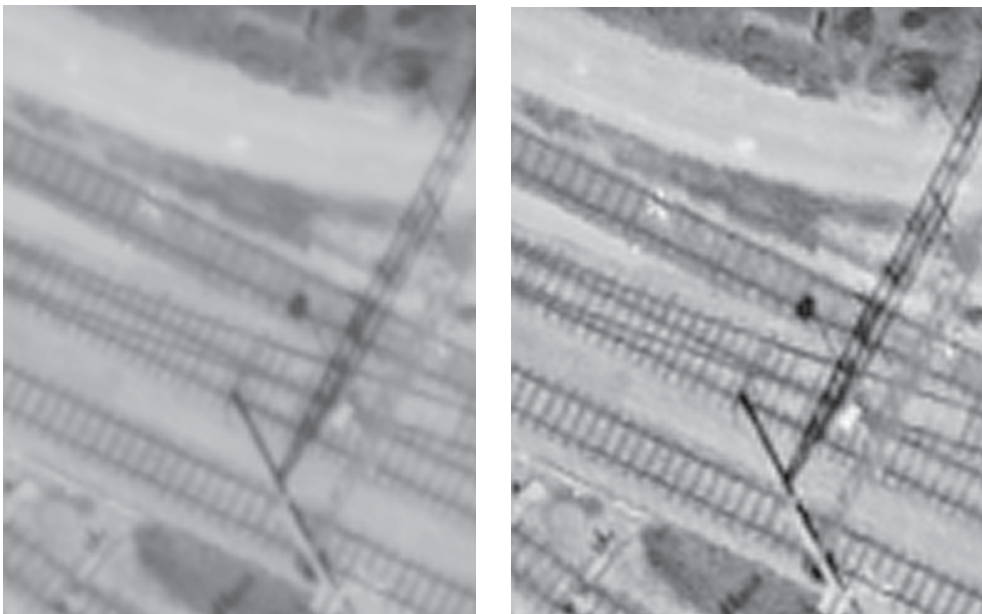


Abb. 3: Links: Originalbild, rechts restauriertes Bild, die Pixelgröße entspricht in etwa der Breite der Schwellen; Größe des Bildausschnitts 96 \times 124 Pixel.

	1	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0.000	-0.001	-0.004	-0.006	-0.006	-0.006	-0.004	-0.001	0.000	0.000
2	0.000	-0.006	-0.019	-0.027	-0.030	-0.027	-0.019	-0.006	-0.002	0.000
3	-0.001	-0.024	-0.007	0.020	0.030	0.020	-0.007	-0.024	-0.006	-0.001
4	-0.004	-0.007	0.028	0.020	0.017	0.020	0.028	-0.007	-0.019	-0.004
5	-0.006	0.020	0.020	-0.169	-0.298	-0.169	0.020	0.020	-0.027	-0.006
6	-0.006	0.030	0.017	-0.298	3.011	-0.298	0.017	0.030	-0.030	-0.006
7	-0.006	0.020	0.020	-0.169	-0.298	-0.169	0.020	0.020	-0.027	-0.006
8	-0.004	-0.007	0.028	0.020	0.017	0.020	0.028	-0.007	-0.019	-0.004
9	-0.001	-0.024	-0.007	0.020	0.030	0.020	-0.007	-0.024	-0.006	-0.001
10	0.000	-0.006	-0.019	-0.027	-0.030	-0.027	-0.019	-0.006	-0.002	0.000
11	0.000	-0.001	-0.004	-0.006	-0.006	-0.006	-0.004	-0.001	0.000	0.000
Summe:	-0.027	-0.005	0.055	-0.620	2.437	-0.620	0.055	-0.005	-0.138	-0.027

Abb. 4: Wiedergabe des vollständigen Filters, das für die Restauration des Bildausschnittes von Abb. 3 verwendet wurde.

tion von Abb. 2 wiedergegeben.: $Z = 0.61$, $A = 0.17$, $B = 0.02$. Prinzipiell lässt sich daher über den gestaggerten Sensor ein Bild mit doppelter Auflösung ($3.5\ \mu\text{m}$) berechnen. Allerdings weisen die Bilder eine viel zu hohe Rollbewegung auf. Die Größe der Rollbewegung lässt sich sehr leicht am Rand von Bildern ablesen, bei denen die Flugbewegungen korrigiert wurden (L1-Bilder, vgl. auch REULKE et al. 2004). Möchte man sicher gehen, dass die versetzten Bilder (B-Sensor) tatsächlich auf Lücke des A-Sensors sind, so sollte die seitliche Rollbewegung 1 Pixel auf einer Länge von 20 Pixel nicht überschreiten ($0.1\ \text{mrad}$ bei 40 Hz), dies wegen der Distanz von 4 Pixel zwischen den beiden Zeilensensoren. Ansonsten überlagern sich periodisch die B Pixel mit den A Pixel und es wird keine zusätzliche Bildinformation über den gestaggerten Array erhalten. Ähnliche Toleranzen würden auch für die anderen Kammerbewegungen gelten.

4.2 Bildrestaurierung bei der DMC von Z/I Imaging

Die digitale Luftbildkamera DMC von Z/I Imaging ist ein Mehrkopfsystem von Rahmenkamern. Die Standardversion benutzt 4 panchromatische Divergentkammern mit einer Brennweite von 120 mm (Öffnung 1:4) und Flächensensoren von 4096×7168 Pixel, Pixelgröße $12\ \mu\text{m}$; es werden jedoch auch andere Sensoren offeriert. Zur Farbregistrie-

rung werden kleinformatigere Kammern mit kürzeren Brennweiten benutzt. Die Aufnahmen aus den 4 panchromatischen Kammern werden zu einem virtuellen Bild von 7680×13824 Pixeln zusammengesetzt. Die Rohbilder und die Bildkombinationen werden in 12 bit codiert (vgl. u. a. HINZ et al. 2001).

Die Kammer erlaubt eine elektronische Kompensation der Bewegungsunschärfe. Dazu werden die Bildregister während der Aufnahme zeilenweise verschoben. Allerdings ist eine korrekte Kompensation der Bewegungsunschärfe nur bei flachem Gelände und bei Senkrechtaufnahmen möglich. Bei den Divergentkammern variiert der Aufnahmemaßstab, und die Bildkompensation weist daher gewisse Grenzen auf; nichtsdestoweniger wird damit eine beträchtliche Steigerung der Ladungssammlung und des Belichtungsspielraums erreicht, was sich bei 12-bit Bildern in einem geringeren Rauschen niederschlagen dürfte.

Zur Ermittlung der Verwaschungsfunktion wurden die zusammengesetzten Bilder verwendet. Dabei ergaben sich die in Abb. 5 wiedergegebene Verwaschungsfunktion und die entsprechende Inverse.

Gleichfalls wurde das Restaurationsfilter berechnet (Abb. 6) und ein Bildausschnitt restauriert (Abb. 7). Es handelt sich hierbei um eine Hausfassade, die sich ganz am Bildrand befindet.

Die Möglichkeit auch streng geometrische Formen, die diagonal verlaufen, erfolg-

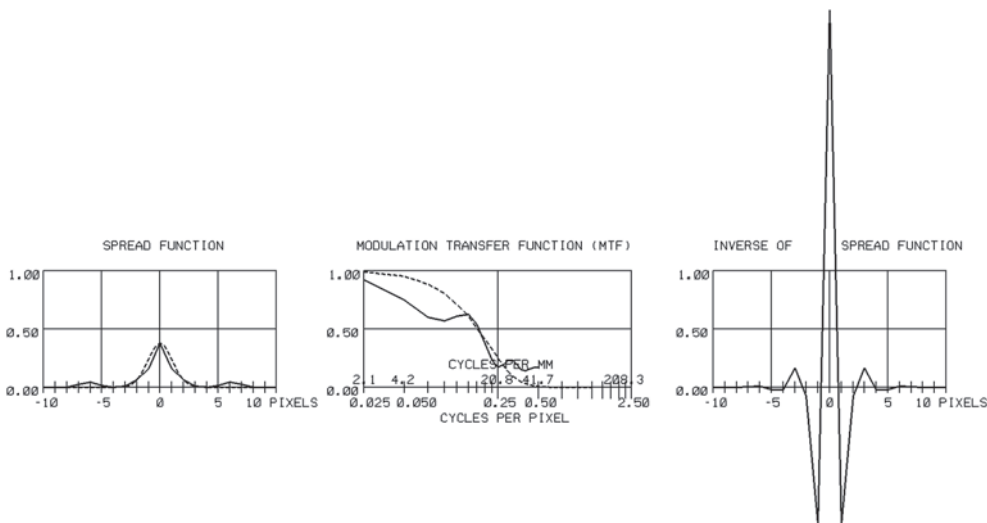


Abb. 5: Verwaschungsfunktion, Modulationsübertragungsfunktion und Inverse der Verwaschungsfunktion, ermittelt an einem Bild der DMC. Die Spreizung der Gaußfunktion (strichliert) beträgt 3 Pixel. Wegen der unterschiedlichen Pixelgröße ergibt sich bei der DMC eine andere Skalierung bei der Modulationsübertragungsfunktion in „cycles per mm“ als bei der ADS40.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0.000	0.000	-0.001	-0.002	-0.004	-0.004	-0.004	-0.002	-0.001	0.000	0.000
2	0.000	-0.001	-0.004	-0.004	-0.005	-0.005	-0.005	-0.004	-0.004	-0.001	0.000
3	-0.001	-0.004	-0.004	0.022	0.053	0.064	0.053	0.022	-0.004	-0.004	-0.001
4	-0.002	-0.004	0.022	0.037	-0.053	-0.090	-0.053	0.037	0.022	-0.004	0.002
5	-0.004	-0.005	0.053	-0.053	-0.389	-0.597	-0.389	-0.053	0.053	-0.005	-0.004
6	-0.004	-0.005	0.064	-0.090	-0.597	5.105	-0.597	-0.090	0.064	-0.005	-0.004
7	-0.004	-0.005	0.053	-0.053	-0.389	-0.597	-0.389	-0.053	0.053	-0.005	-0.004
8	-0.002	-0.004	0.022	0.037	-0.053	-0.090	-0.053	0.037	0.022	-0.004	-0.002
9	-0.001	-0.004	-0.004	0.022	0.053	0.064	0.053	0.022	-0.004	-0.004	-0.001
10	0.000	-0.001	-0.004	-0.004	-0.005	-0.005	-0.005	-0.004	-0.004	-0.001	0.000
11	0.000	0.000	-0.001	-0.002	-0.004	-0.004	-0.004	-0.002	-0.001	0.000	0.000
Summe:	-0.018	-0.033	0.194	-0.091	-1.391	3.842	-1.391	-0.091	0.194	-0.033	-0.018

Abb. 6: Restaurationsfilter für die DMC für den Bildausschnitt von Abb. 7.

reich zu restaurieren, demonstriert die Effizienz des Verfahrens. Ein fehlerhaftes Restaurationsfilter würde sehr schnell zu Artefakten führen.

Soweit bekannt, wurden keine Werksangaben über die MTF des Aufnahmeobjektivs publiziert, vielmehr haben der Hersteller, wie auch andere Benutzer der Kammer, den Siemensstern zur Analyse der Bildqualität benutzt (vgl. u. a. ALAMUS et al. 2005). Freundlicherweise hatte das ICC die entsprechenden Bilder für diese Arbeit zur Ver-

fügung gestellt. Berechnet man an diesen Testtafeln die Verwaschungsfunktion, so wird ein wesentlich besseres Ergebnis erhalten, als in Abb. 5 ausgewiesen. Eine genauere Analyse dieser Bilder zeigt allerdings Effekte einer Kantenverstärkung (vgl. Abb. 8, rechtes Bild). Das Bild weist einen sehr hohen Kontrast auf, im hellen Bildbereich wurden Pixelwerte um 3500 (12 bit) gemessen, der dunkle Teil weist einen Wert um 300 auf und die Kante fällt auf 10 und selbst auf 0 ab.

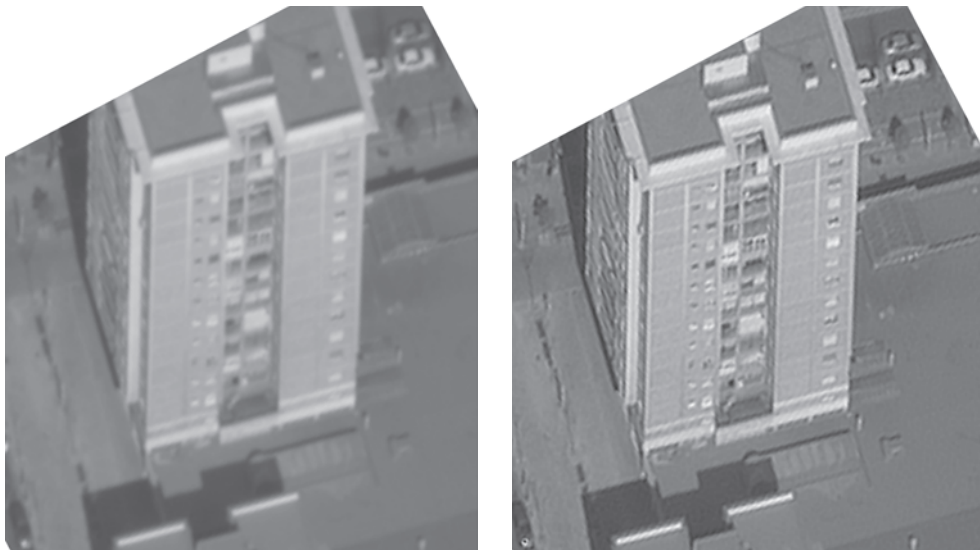


Abb. 7: Beispiel für die Restaurierung eines Bildausschnitts der DMC. Die Hausfassade befindet sich ganz am Rande des Bildes in diagonaler Richtung. Die abgeschnittene linke Kante des Bildausschnittes entspricht dem effektiven Bildrand des Luftbilds. Man erkennt rechts leicht die Pixelstruktur; diese starke Vergrößerung lässt den Effekt der Bildverbesserung deutlicher werden, Größe des Bildausschnitts 217×250 Pixel.

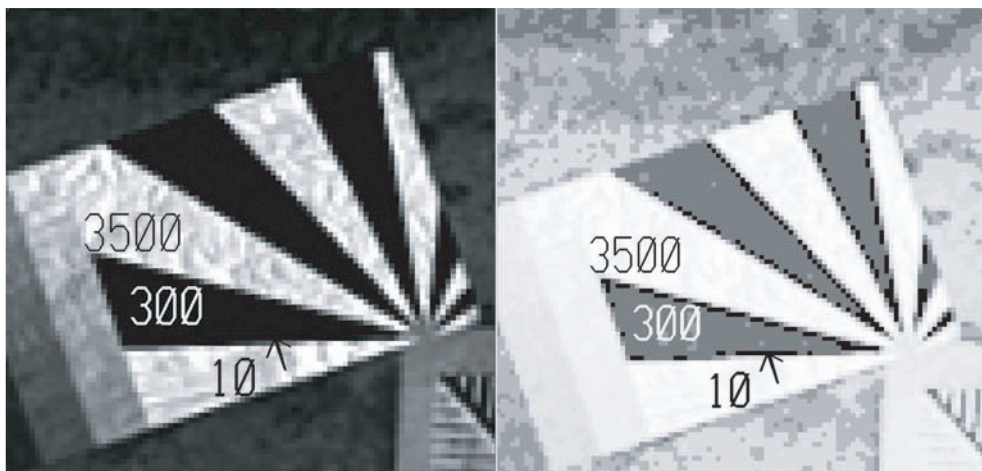


Abb. 8: Siemens-Stern, aufgenommen mit der DMC. Beim rechten Bild wurde der Kontrast verstärkt, damit in den dunklen Bildpartien der Effekt der Kantenverstärkung sichtbar wird. Die Zahlen weisen auf die mittleren Pixelwerte der Bildpartien (3500 hell, 300 dunkel, 10 Kante) hin; Maximalwert bei 12 bit: 4096.

Es dürfte sich bei der Kantenverstärkung um einen elektronischen Effekt des Sensors handeln, der zu einer offensichtlichen Steigerung der Bildschärfe führt, dies vor allem bei hohem Kontrast. Inwieweit dieser Effekt

auch bei der hier vorgeschlagenen Bildrestaurierung zu berücksichtigen ist, konnte auf Grund des begrenzten Bildmaterials nicht weiter analysiert werden.

4.3 Überlegungen zur Bildrestaurierung bei Mittelformatkammern

Zum Teil werden für Luftbildaufnahmen auch Mittelformatkammern (vorwiegend Hasselblad oder Rollei) eingesetzt. Meist weisen die Kammer zurzeit eine Bildgröße von etwas mehr als 4000×5000 Pixel (22 Mega-Pixel) auf. Dies kommt nahe an die Bildgröße einer Einzelkammer der DMC. Bei der DMC werden jedoch 4 Einzelkammern zu einem Aufnahmesystem kombiniert. Gerade bei den mittelformatigen Kammer darf aber mit einer raschen Entwicklung gerechnet werden. So wurde von Hasselblad bereits ein Sensor mit 39 Mega-Pixel angekündigt. Zur Erzeugung von Farbbildern wird jedoch im Allgemeinen mit dem Bayerfilter gearbeitet, d. h. es steht für den Grünkanal bestenfalls die Hälfte der Sensorelemente zur Verfügung. Diese Art Kammer ersetzen folglich keinesfalls die professionellen Luftbildkammer wie die ADS40 oder die DMC, sind aber für Sonderanwendungen durchaus geeignet. Es ist daher interessant, die Güte dieser Kammer in diesem Zusammenhang zu analysieren.

Die Hasselblad H1 kam 2003 auf den Markt und stellt eine komplette Neuentwicklung dar. Die Kammer ist mit dem Imaconxpress Bildsensor 132C mit 4072×5438 Pixel ausgerüstet, Pixelgröße $9 \mu\text{m}$. Für die Registrierung von Farbbildern wird, wie bereits erwähnt, das Bayerfilter verwendet. Die Objektiv der Kammer wurden von Fuji entwickelt, unter anderem sind folgende Typen verfügbar: HC 35 mm/f 3.5, HC 80 mm/f 2.8, HC 150 mm/f 3.5 und Zoomobjektive; weitere Brennweiten sind in Vorbereitung.

Die Verwaschungsfunktion wurde für das 35 mm Weitwinkelobjektiv bestimmt. Die Spreizung der Gaußfunktion beträgt 1.35 Pixel für terrestrische Aufnahmen an einer Testtafel und 1.5 Pixel bei Flugaufnahmen (vgl. Abb. 9); gegen den Bildrand steigt die Spreizung auf 2.0 Pixel an. Zudem wurde am Bildrand eine chromatische Aberration von ca. 2 Pixeln beobachtet. Diese lässt sich weitgehend korrigieren, sollte aber beim Gütevergleich mit den professionellen Luftbildkammer berücksichtigt werden, denn letztere registrieren im panchromatischen Bereich. Das 80 mm Fujiobjektiv erbringt eine etwas höhere Bildqualität.

Die Rollei Kammer AIC modular LS stellt ebenfalls eine Neuentwicklung dar. Die Kammer ist, soweit bekannt, mit dem Bildsensor „Phase one“ ausgerüstet, Bildformat 4080×5440 Pixel; die Kammer kann mit den Rollei-Objektiven des Systems 6000 und mit Rodenstock/Schneider Objektiven ausgerüstet werden.

In Abb. 10 wird die Verwaschungsfunktion für das 50 mm Weitwinkelobjektiv wiedergegeben. Die Spreizung der Gaußfunktion beträgt demnach 1.7 Pixel und für das 80 mm Objektiv 1.9 Pixel jeweils im Bildzentrum; die Bilder weisen am Bildrand zudem eine chromatische Aberration auf. Bemerkenswert ist die recht starke Kantenverstärkung bei den Bildern (vgl. Abb. 11). Es ist daher nicht möglich aus der ermittelten Verwaschungsfunktion effektiv auf die Güte des Aufnahmeobjektivs zu schließen. Der Kanteneffekt ist jedenfalls viel markanter als bei der DMC. Durch diese Kantenverstärkung wird auch die Möglichkeit für die Bildres-

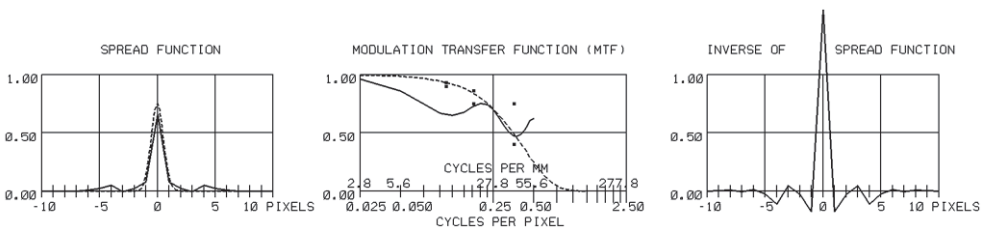


Abb. 9: Verwaschungsfunktion (links), Modulationsübertragungsfunktion (Mitte) und die Inverse für eine Flugaufnahme mit der Hasselblad mit dem Fuji-Objektiv 35 mm. Die schwarzen Quadraten bei der MTF weisen Labormessungen für das Zentrum (oberer Wert) und den Bildrand (unterer Wert) aus, publiziert von Hasselblad.

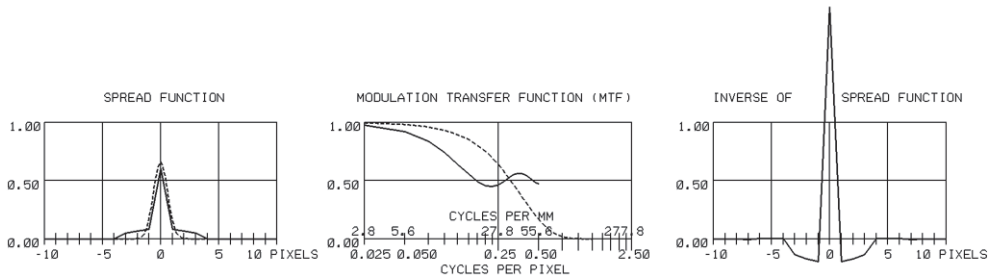


Abb. 10: Verwaschungsfunktion, Modulationsübertragungsfunktion und Inverse des 50 mm Objektivs der Rolleiflex.



Abb. 11: Effekte der Kantenverstärkung bei Aufnahmen mit der Rolleiflex; man beachte den dunklen Rand der Schatten und den anschließenden hellen Streifen, Größe des Bildausschnitts 229×134 Pixel.

taurierung eingeschränkt. In dieser Beziehung unterscheidet sich die Rolleiflex recht markant von der Hasselblad.

5 Schlussbemerkungen

In dem Beitrag wird ein Verfahren gezeigt, das erlaubt, die Unschärfe von Bildern streng numerisch zu korrigieren. Voraussetzung ist jedoch, dass die Bildunschärfe nicht zu groß ist, das heißt, benachbarte Objekte dürfen nicht verschmelzen. Die aufgezeigten Ergebnisse bestätigen die Effizienz des Ver-

fahrens. Das Verfahren ist jedoch nur in der Lage, im Rahmen des mathematischen Modells die gewünschten Ergebnisse zu liefern. So basiert die Bildrestaurierung auf der Verwaschungsfunktion; diese wird als invariant für den gesamten Kontrastbereich angenommen. Spezielle Effekte der Kantenverschärfung durch Ladungsdiffusion, wie sie bei verschiedenen Bildsensoren auftraten, wurden, zumindest vorerst, nicht berücksichtigt. Ferner sei daran erinnert, dass die Bildschärfe auch von der Objektfarbe abhängig ist, dies auf Grund der chromati-

schen Aberration. An sich ist es durchaus möglich das Rechenverfahren zur Bildrestaurierung noch weiter zu verfeinern. Dazu ist aber ein weit umfangreicheres Bildmaterial mit geeigneten Testtafeln erforderlich.

Bei den analysierten Bildern ergab sich zudem der Eindruck, dass die Bildgüte durch den Kontrastumfang begrenzt wird. Vor allem bei den mittelformatigen Kammeren betrug der Dynamikbereich nur in etwa 1:6 bis 1:7. Bei den professionellen Kammeren ist er an sich höher, allerdings wurde dieser bei den analysierten Bildern nur sehr begrenzt genutzt, da sich der Großteil des Bildinhalts auf etwa 30% des Dynamikbereichs beschränkt. Wahrscheinlich wollte man auch noch Objekte mit Spiegelreflexion korrekt belichten, um eine Sättigung von Pixel und Effekte der Überstrahlung (Blooming) zu vermeiden. Der Großteil der Bildszene wurde daher unterbelichtet und Schattenpartien sind nur sehr begrenzt auswertbar. Dies bewirkt, dass dunkle Objekte in Schattenpartien wie Schachteldeckel kaum mehr erkennbar sind. Wir versuchten im Speziellen schwarze Autos in Schattenpartien zu analysieren, aber nur mit sehr mäßigem Erfolg. Demnach ergibt sich der Eindruck, dass der Dynamikbereich von digitalen Luftbildern geringer ist als bei Schwarzweiß-Filmaufnahmen (z. B. mit dem Fliegerfilm Kodak Plus X).

Mit diesen Anmerkungen soll keinesfalls die Effizienz von digitalen Luftbildaufnahmen in Frage gestellt werden. Vielmehr wird durch die digitale Bildregistrierung eine enorme Qualitätssteigerung gegenüber Film-

aufnahmen erreicht und es ist sogar möglich, diese rechnerische noch weiter zu steigern.

Literatur

- ALAMÜS, R. et al., 2005: Validation Process of the ICC Digital Camera. – Int Arch.PhRS, Bd. XXXVI 1/W3. Hannover.
- HINZ, A., DÖRSTEL, CH. & HEIER, H., 2001: DMC-The digital sensor technology of Z/I-Imaging. – Photogrammetric Week 01, Wichmann Verlag.
- KÖLBL, O., 2005: Transfer Functions in Image Data Collection. – Photogrammetric Week 05, Wichmann Verlag.
- LEBERL, F., PERKO, R., GRUBER, M. & PONTICELLI, M., 2002: Novel Concepts for aerial digital cameras. – Comm. 1, ISPRS.
- REULKE, R., TEMPELMANN, U., STALLMANN, D., CRAMER, M. & HAALA, N., 2004: Improvement of Spatial Resolution with Staggered Arrays As Used in The Airborne Optical Sensor Ads40. – Comm. 1, p. 114ff, ISPRS.
- SANDAU, R., 2005: Digitale Luftbildkamera. – p. 341, Wichmann Verlag.
- SCHUSTER, R. & BRAUNECKER, B., 2000: Calibration of the LH Systems ADS40 airborne digital sensor. – IAPRS, Vol. XXXIII, Part B1, Amsterdam, pp. 288–294.

Anschrift des Autors:

Prof. i.R. Dr. OTTO KÖLBL
 Chemin de l'Eglise 17
 CH-1066 Epalinges, Schweiz
 e-mail: otto.koelbl@epfl.ch

Manuskript eingereicht: Januar 2006

Angenommen: Februar 2006

Erhebung der Bodenversiegelung auf Grundlage des ATKIS-Basis-DLM – Möglichkeiten und Grenzen

GOTTHARD MEINEL & ANITA HERNIG, Dresden

Keywords: remote sensing, environmental status, city planning, soil sealing, GIS, ATKIS, monitoring

Zusammenfassung: Die zunehmende Bodenversiegelung ist neben der Klimaveränderung das größte Umweltproblem der Industriestaaten. Eine umweltgerechte Flächenhaushaltspolitik benötigt u. a. ein quantitatives Monitoring der Bodenversiegelung. Eine exakte Erhebung für eine gesplittete Abwassergebührenrechnung ist sehr aufwändig auch bezüglich der Datenfortschreibung. Darum liegt die Nutzung fortschreibungsgesicherter Geobasisdaten nahe. In diesem Beitrag werden eine Methode zur Ableitung der Bodenversiegelung aus dem ATKIS-Basis-DLM/2 vorgestellt und die Möglichkeiten und Grenzen des Verfahrens aufgezeigt. Dazu wird für alle Objektarten des Basis-DLM eine Berechnung mittlerer Versiegelungswerte auf der Grundlage einer hochgenauen Bodenversiegelungserhebung durchgeführt. Anschließend wird für zwei Teststädte die Bodenversiegelung auf ATKIS-Basis bestimmt und mit Referenzwerten verglichen. Ergebnis ist, dass die Bestimmung gesamt- und teilstädtischer Bodenversiegelungswerte mit dem ATKIS-Basis-DLM/2 gut möglich ist, kleinteiligere Ausweisungen sind aber aufgrund der ungenügenden Differenzierung bebauter Flächen im ATKIS-Modell derzeit problematisch. Die Erhebungsgenauigkeit kann aber mit dem ATKIS-Basis-DLM/3 durch die neue Objektklasse Gebäude und das Attribut Straßenbreite wesentlich gesteigert werden.

Summary: *Surveying of soil sealing on the basis of the ATKIS basic DLM as well as description of feasibilities and limits of this method.* The growth of soil sealing together with the climate change is the biggest environmental problem of the industrial countries. However, an environment-oriented land use policy requires among other things a quantitative monitoring of soil sealing. An accurate survey for the calculation of a separate waste water and rainfall charge is very costly also in terms of updating the data. That is why the use of a basic data set whose updating is secured is the most obvious course. The focus of this paper is the development of a method for surveying soil sealing on the basis of the ATKIS basic DLM as well as the description of feasibilities and limits of this method. Therefore the mean of soil sealing for every ATKIS basic DLM feature type has been determined on the basis of a highly exact soil sealing mapping. This was followed by the calculation of the soil sealing of two test cities on the base of ATKIS and the comparison with reference values. The result is that the determination of total and partly urban area sealing values on the basis of the ATKIS basic DLM is possible. Concerning smaller reference units the method causes problems, because of a lack of differentiation of the settlement areas. The precision of sealing surveys can be further improved by the new feature class "building" and the new attribute "road width".

1 Problemstellung

Nach wie vor ist trotz schrumpfender Bevölkerungszahl eine besorgniserregende Flächeninanspruchnahme durch Siedlungstätigkeit zu verzeichnen. So ist die Zunahme der Siedlungs- und Verkehrsfläche (SuV)

laut Umwelt-Barometer im Deutschen Umweltindex (DUX) das dringlichste Umweltproblem in Deutschland. Vom Ziel, den Flächenverbrauch von derzeit 119 ha/d bis zum Jahre 2020 auf 30 ha/d zu senken, ist man weit entfernt. So wuchs 2003 in Deutschland die Siedlungsfläche um 1,0% und die Ver-

kehrfläche um 0,4% (Statistisches Bundesamt 2004). Seit der ersten gesamtdeutschen „Flächenerhebung nach Art der tatsächlichen Nutzung“ im Jahr 1993 nahm die Siedlungs- und Verkehrsfläche um 11,9% zu! Von der Siedlungsfläche sind im Mittel etwa 50% überbaut bzw. versiegelt, bei der Verkehrsfläche ist der Bodenversiegelungsgrad noch wesentlich höher (Umweltbundesamt 2003).

Wegen ihrer negativen Wirkung auf Bodenwasserhaushalt, Mikroklima, Flora und Fauna (Zerstörung von Lebensräumen), Lärm und Stadtklima (Überwärmung) ist der Bodenversiegelungsgrad ein Basisindikator der Stadtökologie. Nur durch Erhebung der zeitlichen und räumlichen Entwicklung (Monitoring) des gesamt- und teilstädtischen Bodenversiegelungsgrades kann der tatsächliche Erfolg einer nachhaltigen Flächenhaushaltspolitik gemessen und beurteilt werden (DOSCH 2002).

Für ein Monitoring der Entwicklung der Bodenversiegelung ist deren Kartierung notwendig. Diese muss in Abhängigkeit von der Aufgabenstellung in unterschiedlicher räumlicher Auflösung erfolgen. Eine hochgenaue (grundstücksscharfe) Ermittlung der Bodenversiegelung ist im Rahmen der Einführung gesplitteter Regen-/Abwassergebühren notwendig und wurde bereits von vielen Kommunen in Deutschland realisiert. Die sehr aufwändige Kartierung der Bodenversiegelung erfolgte in diesen Fällen in der Regel auf Basis von Luftbilddaten im Maßstab 1 : 5.000 durch manuelle Kartierung überbauter sowie voll- oder teilversiegelter Flächen.

Für die Stadtplanung, Umweltbeobachtung und -vorsorge ist eine räumlich geringer auflösende Erhebung der Bodenversiegelung ausreichend. Hier kann entweder eine visuelle Bewertung des Bodenversiegelungsgrades für jeden städtischen Baublock auf Basis von aktuellen Satelliten- oder Luftbildern erfolgen (MEINEL 2000) oder eine Berechnung auf Basis der multispektralen Information (insbesondere des Infrarotkanals) von Satellitenbilddaten (MEINEL 1996) oder Scannern (MEINEL 1997).

Eine indirekte Bodenversiegelungsbestimmung auf Datengrundlage der „Flä-

chenerhebung nach Art der tatsächlichen Nutzung“ ist für Kommunen unzureichend, da sie nur zu einem sehr ungenauen städtischen Gesamtwert führt (Daten sind nur auf Gemeindeebene verfügbar). Auch ist die bei dieser Flächenerhebung erfasste Siedlungs- und Verkehrsfläche nicht mit der tatsächlich versiegelten Fläche gleichzusetzen, da diese auch Freiflächen beinhaltet. Letztlich muss konstatiert werden, dass eine teilräumliche, effiziente und preiswerte Erhebung der Bodenversiegelung für die Stadtplanung und Umweltvorsorge ein derzeit ungelöstes Problem darstellt.

2 Untersuchungsziel

Ziel der Arbeit ist die Entwicklung einer kosteneffizienten Methode zum Monitoring städtischer Bodenversiegelung in ausreichender Genauigkeit. Es liegt der Gedanke nahe, vorhandene, in ihrer Fortschreibung gesicherte Geobasisdaten zu nutzen und aus diesen mittlere Bodenversiegelungswerte abzuleiten. Die wichtigsten topographischen Geobasisdaten in Deutschland sind die ATKIS-Basis-DLMs (früher DLM25), welche auch den Kommunen über die Landesvermessungsämter zur Verfügung stehen. Zielstellung der Arbeit ist es nun, ein Verfahren zur Erhebung der städtischen Bodenversiegelung auf Basis von Versiegelungsprofilen (Histogramme, Mittelwert der Bodenversiegelung) der Objektarten des ATKIS-Basis-DLM zu entwickeln. Regionale Bodenversiegelungserhebungen auf ATKIS-Basis für Niedersachsen auf Gemeindeebene wurden erstmals bei DAHLMANN et al. (2001) vorgestellt. Allerdings zwingen ein veralteter ATKIS-Datenerfassungsstand (DLM/1, 1995) und die verwendete Referenzdatenbasis (nur Kleinstadt) zu neuen Untersuchungen.

Die Versiegelungsprofile in vorliegender Arbeit sollen auf Basis einer hochgenauen luftbildgestützten Bodenversiegelungskartierung der Stadtfläche Dresdens (1 : 5.000) durch GIS-technische Verschneidung mit dem ATKIS-Basis-DLM/2 (Maßstab 1 : 25.000) und einer anschließenden statistischen Analyse für jede ATKIS-Objektart er-

hoben werden. Durch spätere Anwendung der mittleren Bodenversiegelungswerte aller Objektarten auf beliebige ATKIS-Daten könnten dann räumlich aggregierte Versiegelungswerte effizient ermittelt werden. Die Genauigkeit der ermittelten Bodenversiegelungswerte soll dann für verschiedene räumliche Einheiten geprüft werden.

3 Eingangsdaten

3.1 Referenzdaten – Bodenversiegelungskartierung der Stadtentwässerung Dresden

Dresden hat die ehemalige Abwassergebühr in eine getrennte Schmutz- und Niederschlagswassergebühr (letztere wird auch als Bodenversiegelungsgebühr bezeichnet) überführt. Die Niederschlagswassergebühr errechnet sich aus dem Anteil der überbauten und versiegelten Fläche eines Grundstücks. Das Gebührensplittung erhöht die Gebührengerechtigkeit, wird dem Verursacherprinzip besser gerecht und fördert letztlich das Problembewusstsein zum Thema „Bodenversiegelung“.

Voraussetzung für die gesplittete Gebührenerhebung ist eine grundstücksbezogene Datenbank, die genaue Flächenangaben zu den überbauten (einschließlich Dachüberstand!), befestigten (voll- und teilversiegelt) und unbefestigten Grundstücksflächen be-

inhaltet. Diese wurde durch Luftbildkartierung der versiegelten und überbauten Flächen im Auftrag der Stadtentwässerung Dresden GmbH erarbeitet. Dazu wurden Luftbilder im Bildmaßstab 1 : 5.000 orthorektifiziert und nach einer „Auswerte- und Erfassungsrichtlinie“ unter stereoskopischer Sicht digitalisiert.

Die Geometriedaten dieser Erhebung einschließlich des Bodenversiegelungswertes für jede Fläche standen für die vorliegenden Untersuchungen flächendeckend für die Stadt Dresden zur Verfügung. Die Daten wurden von der Stadtentwässerung Dresden im DXF-Format bezogen (220 Teilareale mit insgesamt über 300.000 Polygonen!). Tab.1 gibt den verwendeten Klassifikationsschlüssel und die dazugehörigen Bodenversiegelungswerte der Erhebung wieder.

Die Kartierung erfolgte mit einer Lagegenauigkeit < 0,2m. Damit standen für die Untersuchung hochgenaue Bodenversiegelungsdaten zur Verfügung, die für die Erstellung von Referenzprofilen der Versiegelung geeignet sind.

3.2 Geobasisdaten ATKIS-Basis-DLM

Das Amtliche Topographisch-Kartographische Informationssystem ATKIS ist in Deutschland die grundlegende Digitale Topographische Datenbasis. Es dient zur ein-

Tab. 1: Klassifikationsschlüssel der Bodenversiegelungsdaten (Stadtentwässerung Dresden 1999).

Objektart	Definition/Eigenschaft	Bodenversiegelung VSG [%]
Dächer	alle Dachformen außer Gründächer	100
Gründächer	Flachdächer, die eindeutig als Gründach erkennbar sind	50
Wasserundurchlässige Flächen	Beton, Asphalt, Platten	100
Teildurchlässige Flächen	Pflaster, Platten mit versickerungsfähigen Fugen (teildurchlässig)	70
Schwachableitende Flächen	Wassergebundene Decken, wie Kies und Schotter (teildurchlässig)	50
Restfläche	Unbefestigte Flächen, wie Rasen, Garten etc.	0

heitlichen topographischen Beschreibung des Gebietes der Bundesrepublik Deutschland durch Digitale Landschaftsmodelle (DLM). Im Rahmen des ATKIS-Projekts werden Landschaftsmodelle unterschiedlicher Informationsdichte aufgebaut: Basis-DLM, DLM50, DLM250 und DLM1000. Das DLM beschreibt die topographischen Objekte der Landschaft und das Relief der Erdoberfläche im Vektorformat. Die Objekte werden einer bestimmten Objektart zugeordnet und durch ihre räumliche Lage, ihren geometrischen Typ, beschreibende Attribute und Beziehungen zu anderen Objekten (Relationen) definiert. Jedes Objekt besitzt deutschlandweit eine eindeutige Identifikationsnummer (Identifikator). Welche Objektarten ein DLM beinhaltet und wie die Objekte zu bilden sind, ist im ATKIS-Objektartenkatalog (ATKIS-OK) festgelegt.

Für eine Bodenversiegelungserhebung, abgeleitet aus ATKIS-Daten, ist einzig das Basis-DLM relevant. Dieses wird inzwischen in der Regel auf Basis von digitalen Orthophotos im Maßstab 1 : 10.000 aktualisiert. Die Fortführung des ATKIS-Basis-DLM durch die Landesvermessungsämter ist auch zukünftig gesichert. Diese gesicherte Fortführung ist ein bedeutender Fakt, der die weiterführende Nutzung der Daten, auch zur Gewinnung einzelner Fachdaten, nahe legt.

Während in der ersten Realisierungsstufe des Basis-DLM (DLM25/1) erst 61 Objektarten in den fünf Objektbereichen Siedlung, Verkehr, Vegetation, Gewässer und Gebiete erfasst wurden, sind in der zweiten Realisierungsstufe (DLM25/2) schon 116 Objektarten und zusätzlich der Objektbereich Relief enthalten. Die dritte Realisierungsstufe (DLM25/3) umfasst 189 Objektarten in sieben Objektbereichen. Die Objektarten werden dann durch Attributwerte genauer topographisch oder fachinhaltlich beschrieben. Durch diese Entwicklung wird nach der sehr aufwändigen Ersterhebung sowohl die geometrische als auch die thematische Qualität dieser digitalen Geobasisdaten weiter erhöht.

Wenn es auch heute noch seitens von ATKIS-Anwendern immer wieder Kritik an

der Korrektheit, Aktualität und Lagetreue von ATKIS-Daten gibt, so ist doch eine laufende Verbesserung des Datenmodells festzustellen. Noch bestehende Fehler werden in aktualisierten Fassungen korrigiert, gute Lagetreue durch Fortschreibung auf Ortholuftbildbasis erreicht und damit die Qualität des Datensatzes laufend verbessert. Auch die Aktualität von ATKIS wird erhöht, wie die Definition einer Spitzenaktualität (< 1 Jahr) für hochdynamische Objektbereiche, wie den Verkehr, zeigt.

4 Ermittlung der Bodenversiegelungsprofile der ATKIS-Objektarten

Die Ermittlung mittlerer Bodenversiegelungswerte je ATKIS-Objektart erfolgte durch GIS-technische Verschneidung der beiden Eingangsdatensätze. Sowohl Lage- als auch Attributinformationen beider Ebenen blieben dabei erhalten. Abb. 1 stellt einen Ausschnitt der Bodenversiegelungskartierung (Referenz), überlagert von den Grenzen des ATKIS-Basis-DLM, dar.

Ergebnis der Verschneidung ist eine Polygonebene mit ca. 660.000 Objekten. Jedes Polygon besitzt alle Attribute der Eingangsdaten (Flächengröße, ATKIS-Objektart, Versiegelungswert). Mithilfe der Polygonattributtabelle der Verschnittebene erfolgte die statistische Analyse für jede ATKIS-Objektart. Zunächst wurde für jedes ATKIS-Objekt ein mittlerer Versiegelungswert bestimmt. Anschließend wurde aus allen Objekten einer ATKIS-Objektart der mittlere Gesamtversiegelungswert für diese Objektart bestimmt. Dabei gingen die Objekte, jeweils ihrer Größe nach, gewichtet in die Berechnung ein.

Für alle Objektarten, welche im Dresdner ATKIS-Basis-DLM vorhanden sind, wurde mit dieser Methodik ein mittlerer Versiegelungswert bestimmt. Abb. 2 zeigt beispielhaft die Bodenversiegelungsprofile (Histogramm, Mittelwert und Standardabweichung) der bodenversiegelungsrelevanten, flächenmäßig dominanten und auch häufigsten Objektarten Wohnbaufläche (2111), Industrie- und Gewerbefläche (2112), Fläche



Abb. 1: Bodenversiegelungskartierung (Referenz) überlagert mit dem ATKIS-Basis-DLM (Ausschnitt aus Stadtzentrum Dresden).

Tab. 2: Mittelwert und Standardabweichung der Bodenversiegelung für wichtige ATKIS-Objektarten.

ATKIS-Objektart	ATKIS-Code	Bodenversiegelung [%]		Objektanzahl in Dresden
		VSG _m	VSG ₆	
Wohnbaufläche	2111	49,3	11,0	786
Industrie-/Gewerbefläche	2112	58,7	20,8	731
Fläche gemischter Nutzung	2113	43,1	16,2	4789
Fläche bes. funktionaler Prägung	2114	58,1	16,7	733
Grünanlagen	2227	14,6	12,4	316
Ackerland	4101	1,6	2,7	404
Grünland	4102	9,7	16,2	2207
Gartenland	4103	9,5	7,2	866
Wald/Forst	4107	1,8	3,3	2161

gemischter Nutzung (2113) und Wald, Forst (4107).

Bei einigen Objektarten (z. B. Wald, Ackerland, Fluss) zeigt sich trotz hoher Objektanzahl eine sehr geringe Streuung der Bodenversiegelungswerte der Einzelobjekte, d. h. die Mittelwerte der Bodenversiegelung dieser Objektarten können als sehr zuverlässig angesehen werden. Bei den Objektarten des Objektbereichs Siedlung, die den Bodenversiegelungsgrad wesentlich dominieren, wie Wohnbauflächen (2111), Industrie- und

Gewerbeflächen (2112), Flächen gemischter Nutzung (2113) und Flächen besonderer funktionaler Prägung (2114) kommt es durch die fehlende Differenzierung von Bauungstypen zu einer breiten Streuung der Versiegelungswerte (Abb. 2). Tab. 2 zeigt den mittleren Bodenversiegelungswert (VSG_m) und dessen Standardabweichung (VSG₆) für die wichtigsten ATKIS-Objektarten. Vergleicht man die ermittelten mittleren Versiegelungswerte mit Referenzwerten für die Bodenversiegelung stadtstruktural-

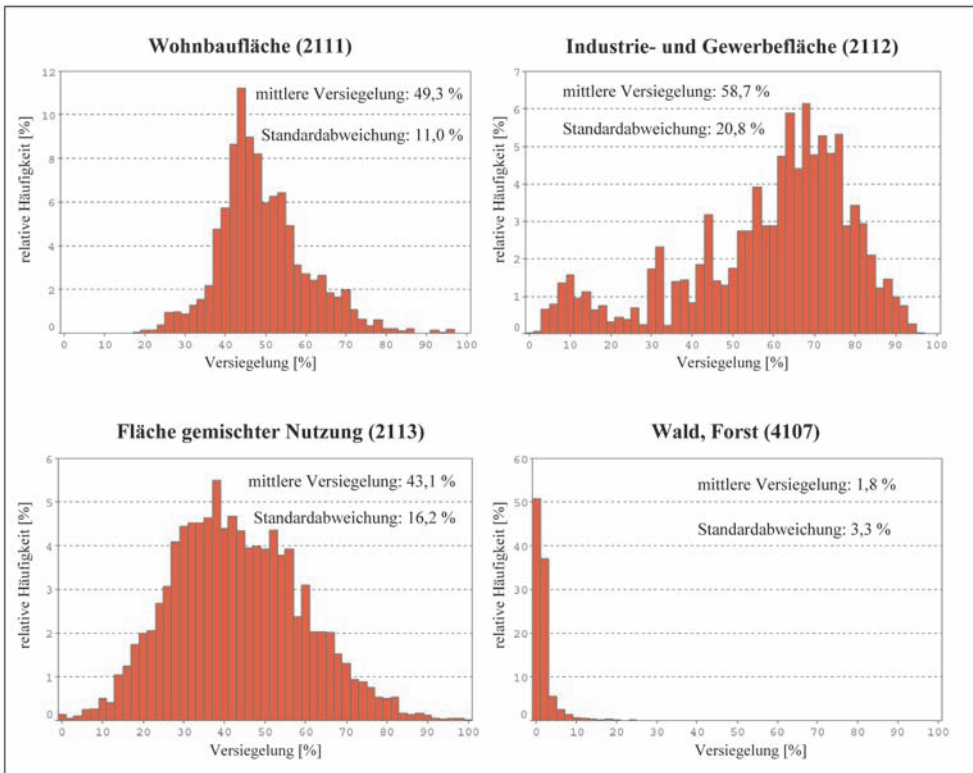


Abb. 2: Bodenversiegelungsprofile wichtiger Objektarten des ATKIS-Basis-DLM.

reller Nutzungstypen aus anderen Studien (z. B. HEBER 1993), so ist insgesamt eine große Übereinstimmung festzustellen.

5 Verfahrensprüfung an Referenzdaten

Ob nun die Verwendung dieser Mittelwerte zu belastbaren Ergebnissen in der Ermittlung gesamt- oder teilstädtischer Bodenversiegelungswerte führt, sollte durch einen Vergleich mit anderen Versiegelungserhebungen geprüft werden. Für diese Untersuchungen wurden die Städte Berlin und Dresden ausgewählt, da hier sowohl das ATKIS-Basis-DLM als auch die Daten von Referenz-Bodenversiegelungserhebungen zur Verfügung standen. Diese wurden durch visuelle Interpretation auf Basis von Satelliten- und Luftbilddaten erhoben, im Falle Berlins zusätzlich unter Zuhilfenahme der

digitalen Gebäudegrundrisskarte im Maßstab 1 : 5.000 (Digitaler Umweltatlas der Stadt Berlin). Es wurden nun auf Basis von Flächensummen der einzelnen ATKIS-Objektarten und anschließender Multiplikation der Flächenanteile mit dem jeweiligen mittleren Bodenversiegelungswert der ATKIS-Objektarten teil- und gesamtstädtische ATKIS-basierte Versiegelungswerte berechnet und mit den durch visuelle Interpretation erhobenen Versiegelungswerten verglichen (Tab. 3 und 4).

Wie die Tab. 3 und 4 zeigen, kann im Mittel eine gute Übereinstimmung der ATKIS-basierten Bodenversiegelungserhebung mit denen durch Bildinterpretation erhobenen Versiegelungsreferenzwerten festgestellt werden. Während die gesamtstädtischen ATKIS-basierten Bodenversiegelungswerte sehr genau sind (Abweichung nur 1,9% bzw. 0,4%), sind die stadtbezirks- (Berlin)

Tab. 3: Bodenversiegelungswerte ermittelt aus ATKIS im Vergleich zur Referenzerhebung für die Stadt Berlin¹ (Digitaler Umweltatlas Berlin).

Stadtbezirk	Referenzwert Bodenversiegelung VSG [%]	VSG _{ATKIS} [%]	Mittlere Abweichung VSG [%]
Friedrichshain – Kreuzberg	62,7	41,6	21,1
Mitte	59,1	43,0	16,1
Tempelhof – Schöneberg	45,9	43,9	2,0
Neukölln	43,0	40,4	2,6
Lichtenberg	42,1	36,3	5,8
Charlottenburg – Wilmersdorf	36,3	28,7	7,6
Pankow	29,6	27,6	2,0
Reinickendorf	28,0	32,0	4,0
Steglitz – Zehlendorf	25,7	29,4	3,7
Spandau	24,0	26,9	2,9
Berlin (10 von 12 Bezirken)	34,6	32,7	1,9

bzw. ortsamtsbezogenen (Dresden) Werte teilweise ungenau. Insbesondere kommt es zu einer starken Unterschätzung der Bodenversiegelung der ATKIS-basierten Erhebungsmethode bei Berliner Stadtbezirken mit hoher Verdichtung (Friedrichshain-Kreuzberg, Mitte). Diese ist auf die Verwendung der in diesen Fällen zu niedrigen mittleren Versiegelungswerte der ATKIS-Objektarten „Wohnbaufläche“ (2111), „Industrie- und Gewerbefläche“ (2112), „Fläche gemischter Nutzung“ (2113) und „Fläche besonderer funktionaler Prägung“ (2114) zurückzuführen. Durch die leichte Überschätzung der Versiegelungswerte der Stadtteile mit lockerer Bebauung kommt es zu einem Fehlerausgleich über die Gesamtfläche Berlins bzw. Dresdens.

An dieser Stelle muss betont werden, dass auch die verwendeten Referenzdaten im Ge-

Tab. 4: Bodenversiegelungswerte ermittelt aus ATKIS im Vergleich zur Referenzerhebung für die Stadt Dresden auf Basis von CIR-Luftbilddaten (Umweltatlas Dresden).

Ortsamt	Referenzwert VSG _{ref} [%]	VSG _{ATKIS} [%]	Mittlere Abweichung VSG [%]
Blasewitz	43,8	37,9	5,9
Altstadt	42,7	38,0	4,7
Pieschen	37,8	32,4	5,4
Leuben	36,4	35,0	1,4
Neustadt	34,3	28,8	5,5
Prohlis	34,1	35,1	– 1,0
Plauen	33,0	34,2	– 1,2
Cotta	21,3	22,1	– 0,8
Klotzsche	16,4	18,6	– 2,2
Loschwitz	6,7	8,8	– 2,1
Dresden gesamt	22,1	21,7	0,4

¹ Die Bezirke Marzahn-Hellersdorf und Treptow – Köpenick konnten nicht einbezogen werden, da für diese das ATKIS-Basis-DLM nicht flächendeckend vorlag.

gensatz zu den verwendeten Kalibrierungsdaten der Stadtentwässerung Dresden nicht fehlerfrei sind, da die Bodenversiegelung nur in 10 (Berlin) bzw. 5 Klassen (Dresden) visuell für die Teilflächen abgeschätzt wurde.

Natürlich sind prinzipiell auch Übersichtskartierungen der Bodenversiegelung auf Basis von ATKIS möglich. Allerdings ist die sehr kleinteilige Darstellung der einzelnen Objekte nicht unproblematisch, da es durch die Verwendung von Mittelwerten in Einzelfällen (vor allem bei hoch verdichteten Flächen) zu einer Fehlausweisung von bis zu 15% kommen kann.

Durch die entwickelte ATKIS-basierte Methode steht den städtischen Umweltämtern eine hocheffiziente Methode zur Ermittlung des Bodenversiegelungsgrades zur Verfügung. Durch Nutzung der Geobasisdaten ist gleichzeitig das Problem der Datenfortschreibung gelöst, ist letztere doch durch die Landesvermessungsämter dauerhaft gesichert. Zusätzlich können durch dieses Verfahren die mit hohem Aufwand erhobenen und gepflegten Geobasisdaten zusätzlich in Wert gesetzt werden.

Die Untersuchungen zeigen, dass die Nutzung von Geobasisdaten zur Ermittlung von Fachdaten sehr hilfreich ist. Es konnte gezeigt werden, dass auf Basis des ATKIS-Basis-DLM die überschlägige Ermittlung gesamt- und teilstädtischer (z. B. Stadtbezirk, Ortsamt) Versiegelungswerte möglich ist. Für kleinere Bezugseinheiten, wie statistische Bezirke, Baublöcke und ATKIS-Objekte, wachsen allerdings die Fehler der beschriebenen ATKIS-DLM/2-basierten Versiegelungserhebung.

6 Erhebungsmethodik auf Grundlage des ATKIS-Basis-DLM/3

Eine wesentliche Verbesserung der beschriebenen Methodik kann in Zukunft durch das ATKIS-Basis-DLM/3 erzielt werden, da dieses über neue, für die Bestimmung der Bodenversiegelung relevante Objektarten und Attribute verfügt.

So ist ab dem DLM/3 die Objektklasse Gebäude (2315) definiert. Ausschließlich

untergeordneter Gebäude (z. B. Lager-schuppen, Einzelgaragen, Gartenhäusern) mit einer Fläche < 50 m² werden alle Gebäudegrundflächen erfasst. Da für die Versiegelung die Dachfläche relevant ist, muss zur Berücksichtigung des Dachüberstandes mit einem Zuschlag auf die Gebäudegrundfläche in Höhe von ca. 20–25% gearbeitet werden. Die Gebäudefläche muss in der Regel als vollversiegelt angenommen werden (Ausnahmen: Dachbegrünung bzw. Dachentwässerung, die nicht in die Kanalisation erfolgen).

Keine Informationen lassen sich aus dem DLM/3 zu den versiegelten Freiflächen ableiten, obwohl diese erheblich zum Bodenversiegelungswert beitragen. Hier kann nur mit mittleren versiegelten Freiflächenanteilen für jede Objektklasse gearbeitet werden. In einem Vorversuch wurde der Anteil versiegelter Freiflächen aus der Referenzkartierung der Stadtentwässerung Dresden bestimmt (Tab. 5).

Dass der Bodenversiegelungsgrad der Gebäudeflächen nicht den Wert 100% erreicht, ist auf begrünte Gebäudedächer zurückzuführen, die nur mit einem Versiegelungsgrad von 50% bewertet werden.

Um den systematischen Fehler durch zu starke Spreizung der Versiegelungswerte in den versiegelungsrelevanten ATKIS-Objektarten zu senken, kann das im ATKIS-Basis-DLM/3 definierte Attribut „Offene oder geschlossene Bebauung“ (BEB) für die Objektarten 2111, 2113 und 2114 verwendet werden (Attribut ist für Objektart Industrie/

Tab. 5: Mittlerer Bodenversiegelungsgrad getrennt für Frei- und Gebäudeflächen relevanter ATKIS-Objektarten, in Klammern jeweils Standardabweichungen.

ATKIS-Objektart	VSG _{Freifläche} [%]	VSG _{Gebäude} [%]
2111	37,5 (11,6)	97,7 (6,1)
2112	46,4 (20,2)	98,9 (2,8)
2113	30,3 (14,9)	97,9 (3,6)
2114	45,7 (16,8)	96,5 (6,3)

Tab. 6: Mittlere Bodenversiegelungswerte unter Nutzung des DLM/3-Attributs „Offene/geschlossene Bebauung BEB“, in Klammern jeweils die Standardabweichung.

ATKIS-Objektart	VSG _{offene Bebauung} [%]	VSG _{geschlossene Bebauung} [%]
2111	42,2 (13,2)	64,7 (13,2)
2113	31,8 (14,7)	70,4 (8,6)
2114	53,2 (19,8)	78,9 (12,3)

Gewerbe (2112) nicht definiert). Da in den einzelnen Bundesländern erst mit der Erfassung des DLM/3 begonnen wurde, war auch dieses Attribut für Dresden noch nicht belegt und wurde durch visuelle Interpretation für die relevanten ATKIS-Objektarten gesetzt. Tab. 6 zeigt den mittleren Bodenversiegelungsgrad für diese Objektarten unter Differenzierung des ATKIS-Attributs Bebauung (BEB).

Deutlich werden die nur geringfügig niedrigeren Bodenversiegelungswerte für die offene Bebauung, aber die sehr starke Erhöhung der Werte für die geschlossene Bebauung, die zwischen 13,8% (2111) und 24,7% (2113) über denen der offenen Bebauung liegen. Damit können letztlich auch die hoch verdichteten Stadtgebiete genauer in ihrem Versiegelungsgrad ausgewiesen werden.

Eine weitere Einschränkung der Genauigkeit der Bodenversiegelungserhebung sind derzeit die in der Regel vollversiegelten Straßenflächen. Das Attribut Breite des Verkehrsweges (BRV) ist bei dem DLM/2 für die Objektart „Straßenverkehr“ (3101), „Straßenkörper“ (3105) und „Fahrbahn“ (3106) innerhalb von Ortslagen in der Regel noch nicht belegt. Damit können Straßenflächen, die im ATKIS nur als Liniengeometrien erfasst sind, nicht separat in Bodenversiegelungsberechnungen eingehen und verfälschen dadurch die Mittelwerte relevanter Objektarten bebauter Flächen. Im DLM/3 werden die Attribute „Besondere Fahrstreifen“ (BFS) mit der Info ohne/mit Radweg bzw. ohne/mit Fußweg, Breite der Fahrbahn (BRF) mit der tatsächlichen

Fahrbahnbreite sowie das Attribut Breite des Verkehrsweges (BRV) zur Verfügung stehen. So können durch Pufferzonenbildung mit dem Attribut „Straßenbreite“ Straßenflächen erzeugt werden, die dann mit speziell errechneten Mittelwerten der Bodenversiegelung (die nahe bei 100% liegen werden) belegt werden. Die Straßenpolygone werden aus den angrenzenden Polygonen ausgeschnitten und die verbleibenden „Restpolygone“ mit Referenzwerten der mittleren Bodenversiegelung ohne Straßenanteile bewertet. Natürlich verlangt dieses Vorgehen dann den Zugriff auf ATKIS-Geometrien und nicht nur auf ATKIS-Flächenbilanzen der Objektarten.

Sobald DLM/3-Daten für die Stadtfläche Dresden zur Verfügung stehen, werden die mittleren Versiegelungswerte für die Freiflächen aller Objektarten bestimmt und das erweiterte Verfahren damit getestet.

Sinnvoll wäre eine Verbesserung der empirisch ermittelten Werte durch weitere Teststädte, für die Geometrien von hochgenauen Versiegelungserhebungen sowie das ATKIS-DLM/3 vorliegen.

Durch die Fortführung von ATKIS zur Version DLM/3 auf Basis von Ortholufbildern ist in Zukunft mit sehr genauen Geometriedaten zu rechnen. So sollten die im ATKIS-DLM/2 teilweise bestehenden erheblichen Lageverschiebungen, die bei der Verschneidung mit anderen Geometriedaten (z. B. hochgenauen Versiegelungskartierungen) zu erheblichen Fehlern führen, der Vergangenheit angehören und damit auch genauere mittlere Referenzwerte der Bodenversiegelung für die Objektarten ermöglichen.

Letztlich lassen auch Aufbau und Gliederung des ATKIS-Objektartenkatalogs weitere Objektarten und Attribute aus topographischer bzw. auch fachlicher Art als Ergänzung zu. An dieser Stelle wird darum die Hoffnung ausgesprochen, dass wichtige Fachdaten, wie u. a. die Bodenversiegelung oder auch eine genauere Differenzierung der Bauungsstruktur, zukünftig in ATKIS integriert werden können.

Danksagung

Der Stadtentwässerung Dresden GmbH wird ausdrücklich für die kostenfreie Bereitstellung der Versiegelungsdaten für die Stadtfläche Dresdens gedankt.

Literatur

- Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV), 2003: Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem. Objektartenkatalog (ATKIS – OK), Teil D0, Erläuterungen zu allen Teilkatalogen (Version 3.2), Stand 01.07.2003.
- Bodenfläche nach Art tatsächlicher Nutzung – Methodische Erläuterungen und Eckzahlen – 2001 (2002): – Land- und Forstwirtschaft, Fischerei, Auszug Fachserie 3, Reihe 5.1, Statistisches Bundesamt Wiesbaden.
- DAHLMANN, I., GUNREBEN, M. & THARSEN, J., 2001: Flächenverbrauch und Bodenversiegelung in Niedersachsen. – Bodenschutz, 3/2001: 79–84.
- DOSCH, F., 2002: Auf dem Weg zu einer nachhaltigeren Flächennutzung? – Informationen zur Raumentwicklung, 1/2: 31–45.
- Digitaler Umweltatlas der Stadt Berlin (www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/)
- HEBER, B. & LEHMANN, I., 1993: Stadtstrukturelle Orientierungswerte für die Bodenversiegelung. – IÖR-Schriften 05, Dresden.
- HERNIG, A., 2005: Erhebung von Bodenversiegelungsprofilen für relevante Klassen von Geobasisdaten auf Grundlage hochgenauer Versiegelungskartierungen. – Diplomarbeit, TU Dresden.
- MEINEL, G. & HENNERSDORF, J., 2000: Fortschreibung von Stadtstrukturtypenkarten auf Basis von IRS-1C-Satellitenbilddaten am Beispiel des Stadtgebietes Dresden. – Abschlussbericht (unveröff.).
- MEINEL, G. & NETZBAND, M., 1996: Erarbeitung von Übersichtskarten zur Versiegelungsintensität. – UFZ-Berichte, Stadtökologische Forschungen Nr. 7, Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle (Leipzig), ISSN 0948–9452, S. V1–V60.
- MEINEL, G. & NETZBAND, M., 1997: Bestimmung der Oberflächenversiegelung von Stadtgebieten auf Grundlage von ATM-Scannerdaten. – Photogrammetrie-Fernerkundung-Geoinformation (PFG), 1997 (2): 93–102; E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- Stadtentwässerung Dresden, 1999: Technische Richtlinien – Abflusswirksame Flächen.
- Stadtentwässerung Dresden, 2000: Auswerte- und Erfassungsvorschrift Luftbilddauswertung „Versiegelte Flächen“
- Statistisches Bundesamt, 2004: Siedlungs- und Verkehrsfläche nach Art der tatsächlichen Nutzung, Erläuterungen und Eckzahlen. – „Land- und Forstwirtschaft, Fischerei“, Wiesbaden.
- Umweltatlas Dresden, 2002: Hrsg. Umweltamt der Stadt Dresden.
- Umweltbundesamt, 2003: Reduzierung der Flächeninanspruchnahme durch Siedlung und Verkehr. – UBA-Texte 90/03.

Anschrift der Verfasser:

Dr.-Ing. GOTTHARD MEINEL

e-mail: G.Meinel@ioer.de

Dipl.-Ing. ANITA HERNIG

e-mail: Anita.Hernig@web.de

Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V., Weberplatz 1, D-01217 Dresden

Manuskript eingereicht: Dezember 2005

Angenommen: Januar 2006

Spektrale Normkurven – eine notwendige Voraussetzung für die Klassifizierung der Fruchtartenverteilung aus Fernerkundungsdaten

SIBYLLE ITZEROTT & KLAUS KADEN, Potsdam

Keywords: remote sensing, satellite data, spectral standard curve, winter wheat, agriculture

Zusammenfassung: Multitemporale Anwendungen nehmen inzwischen bei der Klassifizierung von Ackerkulturen aus Fernerkundungsdaten einen breiten Raum ein. Bisher ungelöst ist jedoch das Problem eines universellen Klassifikators für Fruchtarten, unabhängig von Witterungs- und Bodeneinflüssen. Dazu ist nach Meinung der Autoren neben der geometrischen und Atmosphärenkorrektur der verwendeten Daten die zeitliche Korrektur der Bildinhalte, geknüpft an den phänologischen Zustand der abgebildeten Früchte, von höchster Wichtigkeit. Die vorgestellten Untersuchungen widmen sich diesem Problem mit der Erzeugung von spektralen Normkurven, die den Zusammenhang zwischen Entwicklungszustand und Spektralwert von Ackerkulturen herstellen.

Summary: *Spectral standard curves – a precondition of crop distribution classification in agriculture from satellite data.* Multitemporal applications rank at present in a high position in the field of crop distribution classification in agriculture. But the problem of a universal class description for crops, uninfluenced by special weather and soil conditions, is still unresolved. The authors are convinced that apart from the geometrical and atmosphere correction of the used data highest importance has to be attached to the temporal correction of the satellite image contents, according to the phenological status of the shown crops. The presented investigations are dedicated to that problem by designing spectral standard curves, which implicate the phenological status with the spectral value of crops.

1 Problemstellung

Umweltbezogene Fragestellungen sind eng mit der Verarbeitung von raum-zeit-bezogenen Informationen verbunden. Die Verwendung von Modellen ist dabei gegenwärtig die zentrale Methode, Prozesse in ihrem Raumbezug abzubilden. Bei ihrer Entwicklung ist heute ein Stand erreicht, der zunehmend Prozesse realitätsnah abbildet. Das führt zu einem gewachsenen Bedarf an in Raum und Zeit hoch auflösenden Daten. Hier sollen die Fernerkundungsdaten ansetzen. Wenngleich ihre Nutzung noch weit entfernt vom Echtzeit-Monitoring ist, können ihre Potenzen in der Auflösung von Raum und Zeit nutzbar gemacht werden.

Die Flächennutzung ist eine hochdynamische Größe. Dies trifft insbesondere für den Ackerbau zu. Die Fläche wird durch verschiedene Fruchtarten genutzt, die im jährlichen Wechsel – in Fruchtfolgen – angebaut werden. Als Ackerland genutzte Flächen unterliegen regelmäßiger Bodenbearbeitung, Saat, Düngung, Pflege und Ernte der Kulturpflanzenarten. Die Fruchtfolgengestaltung ist von verschiedensten Faktoren abhängig. Zum einen von den natürlichen Standortverhältnissen (Klima, Boden), zum anderen von kulturartenspezifischen Ansprüchen an die Saatzeit, Bearbeitung und den Wasservorrat. Hinzu kommen verschiedene Unverträglichkeiten der Fruchtarten nacheinander und Selbstunverträglichkei-

ten der Feldfrüchte. Die Berücksichtigung dieser Zusammenhänge manifestiert sich in der Fruchtfolgelehre (KÖNNECKE 1967). Aber nicht nur die genannten Faktoren beeinflussen die Fruchtfolgegestaltung, oftmals sind auch ökonomische Zwänge für den Anbau bestimmter Kulturen ausschlaggebend. Im konventionellen und integrierten Landbau werden „notwendige Fruchtfolgefehler“, die mit Ertragseinbußen und Krankheits- und Schädlingsbefall einhergehen, durch Einsatz von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln sowie Herbiziden kompensiert. Im Resultat existieren Bewirtschaftungszustände für einzelne Zeitpunkte und Flächen, die schwerlich nach Raum und Zeit normierbar sind. Von der ursprünglichen Regelmäßigkeit der agronomischen Anbaulehre kann in der Aktualität erheblich abgewichen werden. Deshalb bedarf es der Erfassung der tatsächlichen Fruchtfolge aus flächenhaft gewonnenen Abbildern der Nutzung – den Fernerkundungsdaten.

2 Flächennutzung in der Fernerkundung

Die Etablierung der Fernerkundung als Methode ist eng an das Themenfeld „Flächennutzung“ gebunden. Die Erfassung der agrarischen Nutzung stellt einen wesentlichen Schwerpunkt dar und hat einen bedeutungsvollen Stand erreicht (BARSCH & SÖLLNER 1987, WIEGAND et al. 1991, STOLZ 1998, KADEN et al. 1999, LUNETTE et al. 2002).

Eine der bekanntesten Anwendungen der Fernerkundung ist seit den 90er Jahren die Kontrolle landwirtschaftlicher Anbauflächen in Europa zur Gewährung staatlicher Beihilfen aus dem Europäischen Ausrichtungs- und Garantiefonds für die Landwirtschaft (*EAGFL*). Als Kontrollwerkzeug wird das Integrierte Verwaltungs- und Kontrollsystem (*InVeKoS*) eingesetzt, das auf Fernerkundungsmethoden aufsetzt. Auch als landwirtschaftliche Basisinformationen zur Erfassung kleinräumiger Boden- und Bestandsheterogenität für die teilschlagspezifische Bewirtschaftung sind Fernerkundungsaufnahmen nach GRENZDÖRFFER (1998) sehr gut geeignet. Bei der als *Preci-*

sion Farming bezeichneten Bewirtschaftungsmethode wird die räumliche und zeitliche Variabilität innerhalb eines Schlages berücksichtigt. Der Landwirt strebt in Bezug auf Bewässerung, Einsatz von Düngemitteln und Herbiziden sowie Ernte eine Einsparung von Ressourcen und die Entlastung von Umwelt und Trinkwassergewinnung an. Der Einsatz der Fernerkundung für diese Anwendung beschränkt sich derzeit jedoch im Wesentlichen auf den Einsatz von Luftbildern.

Die Anwendung der Fernerkundungsmethode muss dabei häufig als Einzellösung verstanden werden, das heißt, sie ist auf den vorliegenden Sachverhalt abgestimmt. Die Übertragbarkeit von Methode und Ergebnis auf andere Regionen ist eingeschränkt und verlangt Kalibrierungen in der Verarbeitungskette. Routinemäßig werden Fernerkundungsdaten hinsichtlich ihrer spektralen, radiometrischen und geometrischen Auflösung korrigiert, die das eigentliche Potenzial der Daten bestimmende zeitliche Auflösungskorrektur bleibt dahingehend in der Regel unbeachtet. Witterungsbedingte Bewertungen werden meist in die Interpretation verlagert. Dieser Faktor ist in der vorgestellten Untersuchung berücksichtigt. Das stellt wohl den entscheidenden Fortschritt gegenüber bisherigen Lösungsansätzen dar.

3 Strategie zum Einsatz der Fernerkundungsdaten

Die Verwendung der Fernerkundungsdaten und der Einsatz der Fernerkundungsmethode ist heute meist an einen bestimmten Arbeitsalgorithmus geknüpft. Mit Hilfe von Bildverarbeitungssystemen werden die Daten aufbereitet und dabei ein breites Spektrum von Werkzeugen eingesetzt. Im Wesentlichen bestehen die Arbeitsschritte aus:

- Datenaufbereitung (atmosphärische und geometrische Korrektur)
- Erstellung von Klassifizierungsmasken
- Interpretationsorientierte Bildaufbereitung (Erzeugen von Ratiobildern, z. B. NDVI)
- Erstellen eines Klassifikators zur Bildklassifizierung (Bildclustering)

- Klassifikation nach Algorithmus
- Bildverbesserung des Klassifikationsergebnisses mittels Filterung.

Die durchgeführten Untersuchungen zielen auf das Kernstück dieser oder ähnlicher Arbeitsabläufe, das Erstellen eines Klassifikators. In der Regel ist er gegenwärtig nicht nur an einen Klassifizierungsalgorithmus gebunden, sondern in hohem Maße auch an die verwendeten Bilddaten. Eine Übertragung des Klassifikators auf andere Datensätze scheitert fast immer an deren Spezifik. Soll er zur Fixgröße werden, müssen normierte spektrale Klassenbeschreibungen (im Weiteren Normkurven genannt) erzeugt werden. Außerdem müssen die verwendeten Bilddatensätze dem Normklassifikator entsprechend kalibriert werden. Fernerkundungsdaten können somit gezielter aufbereitet und der Interpretation zugeführt werden. Das ist eine unabdingbare Forderung für das Arbeiten mit hochdynamischen Größen wie der Flächennutzung. Der vorgestellte Ansatz zielt auf die Entwicklung spektraler Normkurven für Ackerkulturen, die über das Spektralverhalten die phänologische Situation einzelner Kulturen im vollständigen Jahresverlauf abbilden. Sie ermöglichen damit für jeden phänologischen Zustand die Extraktion der wahrscheinlichen Spektralcharakteristik einer Feldkultur. Der Grundgedanke ist die Ermittlung spektraler Normkurven aus den spezifischen Rückstrahleigenschaften der einzelnen Nutzungsklassen. So bestimmen Chlorophyll- und Wassergehalt, die Zellstruktur der Blätter und die Architektur des Pflanzenbestandes (Bedeckungsgrad, Blattflächenindex, durchscheinender Boden) die spektrale Signatur eines Pflanzenbestandes. Diese wird im Laufe eines Jahres durch sich verändernde Phänologiemerkmale, Witterung, Standorteigenschaften, Kulturart und agrotechnische Bewirtschaftungstermine beeinflusst. Somit wirken verschiedene Faktoren auf die spektralen Signaturen ein. Die Frage, inwieweit diese Merkmale entscheidend die spektralen Normkurven verschiedener landwirtschaftlicher Nutzungen beeinflussen, rückt in den unmittelbaren Betrachtungsbereich. Ausge-

hend vom Anbauspektrum des Landes Brandenburg wurden für die Kulturen Winterroggen, Wintergerste, Winterweizen, Wintererbsen, Sommergetreide, Silomais, Kartoffeln, Zuckerrüben, Ölfrüchte/Leguminosen, Feldfutter und Brache spektrale Normkurven entwickelt. Basis sind die im Verlauf eines Jahres veränderten spektralen Eigenschaften. Dabei tritt normalerweise ein gleicher phänologischer Jahresverlauf in jeder Kultur/Klasse wiederholt auf. Solche Klassen werden als intraannuale dynamische Klassen bezeichnet. Sie sind die angestrebten Elemente des Klassifikators. Aus diesem Blickwinkel rücken zunächst folgende Aufgaben in den unmittelbaren Blickpunkt:

- Erzeugung eines multitemporalen Fernerkundungsdatensatzes als Basis für die Generierung der spektralen Charakteristik der Normkurven,
- Spektrale Charakteristik der Kulturen inklusive der Ermittlung geeigneter spektraler Kenngrößen auf der Grundlage feldspektrometrischer Messungen,
- Auswertung von Wetterdaten zur exakten Bewertung der phänologischen Situation der einzelnen Kulturen zu den Aufnahme-terminen,
- Zusammenstellung und Bewertung von schlagbezogenen Betriebsdaten über den Anbau der Kulturen für ausgewählte Referenzbetriebe,
- Untersuchung des Einflusses von Bodendaten auf die Spektralmerkmale.

Dementsprechend wurden die Datengrundlagen geschaffen. Sie bilden die Voraussetzung für die Ableitung der spektralen Normkurven. Am Beispiel der Kultur Winterweizen soll die Entwicklung der spektralen Normkurve dargestellt werden.

4 Datengrundlagen und Datenaufbereitung für die Entwicklung spektraler Normkurven

Die Bewertung des komplexen Bedingungsgefüges bei der Entwicklung spektraler Normkurven erfordert die Einbeziehung unterschiedlicher Informationsquellen. Im

Folgenden sollen die notwendigen Daten kurz charakterisiert werden.

Fernerkundungsdaten

Zur Verfügung standen 35 Satellitenbilddatensätze (vorwiegend Landsat-TM/ETM-Vollszenen) aus den Jahren 1987 bis 2002. Für die atmosphärische und geometrische Kalibrierung wurden die Software Routinen von ERDAS IMAGINE/ATCOR2 genutzt. Die Datenaufbereitung wird ergänzt durch eine Maskierung und eine Indexberechnung. Bildmaskierungen vereinfachen die Bildinterpretation erheblich. Dadurch verringern sich Speicherplatz und Rechenzeit, aber vor allem Fehlklassifizierungen speziell bei Flächennutzungsklassifizierungen. Aus der digitalen Biotoptypenkartierung Brandenburgs (Grundlage Color-Infrarot (CIR) Luftbildkartierungen aus dem Jahr 1992/1993) wurde eine Ackermaske erstellt. Für den Datensatz der ackerbaulichen Nutzflächen wurde im nächsten Aufbereitungsschritt der NDVI berechnet. Ratios reduzieren insbesondere bei multitemporaler Anwendung die Datenmenge bei Beibehaltung

ihrer Interpretationsfähigkeit sinnvoll. Mit der Eigenschaft, Vegetationstypen und -zustände signifikant unterscheiden zu können, ist der NDVI gut für die Klassifizierung von Ackerkulturen geeignet (JACKSON 1983, THENKABAIL et al. 2000). Datenbasis ist somit ein multitemporaler Datensatz der NDVI-Werte der Ackerflächen.

Feldspektrometermessungen

Ein wesentlicher Aspekt der Verwendung der Fernerkundungsdaten war die Entscheidung über die zu nutzende optimal interpretierbare spektrale Information. Neben eigenen und allgemeinen Erfahrungen wurden hierzu in einem Feldexperiment zusätzlich spektrale Signaturen für einzelne Kulturen ermittelt und ausgewertet. Für die Messungen wurde das Feldspektrometer FieldSpec® Pro FR (Analytical Spectral Devices Inc.; Boulder, USA) verwendet. Es deckt den Wellenlängenbereich zwischen 350 und 2500 nm ab. Die spektrale Auflösung im VIS und NIR beträgt ca. 3 nm, im SWIR liegt das Intervall zwischen 10 und 12 nm. Das Sensorblickfeld beträgt 8° (ver-

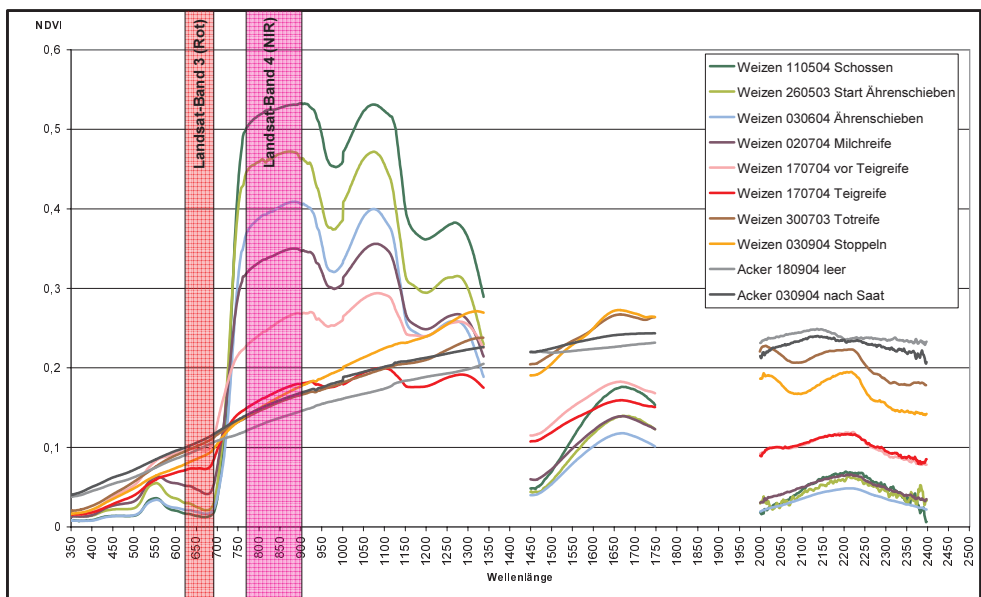


Abb. 1: Feldspektrometrische Charakteristik von Winterweizen.

änderbar auf 25° oder 1°). Es wurden pro Standort und Aufnahmeterrain ca. 25 mal 50 Punktmessungen vorgenommen. Die Einzelmessungen wurden bei der Datenauswertung gemittelt. Damit lag eine repräsentative Datenmenge vor.

Die Abb. 1 verdeutlicht die Ergebnisse der Feldspektrometernmessungen für Winterweizen. Das Verhältnis von NIR und ROT (abgebildet durch den NDVI) erscheint bei Betrachtung der Abbildung als durchaus geeignetes Merkmal zur Verdeutlichung der Wuchsunterschiede zu den verschiedenen Zeitpunkten. Dies unterstreicht die herausragende Stellung des NDVI ($\text{NIR} - \text{ROT} / \text{NIR} + \text{ROT}$) innerhalb der gegenwärtig verwendeten Indexwerte und untermauert eine Entscheidung zu Gunsten dieser Größe.

Betriebsdaten

Referenzdaten sind der unersetzbare Schlüssel zur Interpretation von Fernerkundungsdaten. Um diese derzeit feststehende Aussage abzuschwächen, sind die angestellten Untersuchungen durchgeführt worden. Die zu entwickelnden spektralen Normkurven sol-

len dem Anspruch der Übertragbarkeit genügen und diese enge Bindung lösen. Es war aber unumgänglich, dass bei der Ableitung der Normkurven die spektrale Charakteristik fest an aussagekräftige Bewirtschaftungsangaben gebunden wurde.

Informationen dazu lieferten Beispielbetriebe. Bei der Auswahl der Referenzgebiete wurden verschiedene Bodenregionen Brandenburgs berücksichtigt. Schlagbezogene Anbauinformationen für die Untersuchungsjahre wurden eingeholt und in einem GIS zusammengeführt. Dieser Anbaudatenbank kann für jeden Schlag in jedem Jahr die Information über die angebaute Kultur entnommen werden. Die Informationen sind in zweierlei Hinsicht bedeutungsvoll, einerseits ermöglicht der Raumbezug die schlaggenaue und fruchtgenaue Auswertung der Fernerkundungsinformation, andererseits kann mit der Dokumentation der Anbaufolgen der Zeitaspekt in dem multitemporalen Untersuchungsansatz besser berücksichtigt werden.

In den Referenzgebieten wurden je zwei Agrarbetriebe für die Ermittlung der Anbauinformationen ausgewählt. Diese Betriebe

Tab. 1: Anbaudaten der Agrarbetriebe.

Referenzgebiet und Bodenregion	Betrieb	Anzahl der Ackerschläge	Gesamtfläche (in ha)	Anbaujahre
Rheinsberger Land Ertragsarme Böden in grundwasserfernen Lagen	Agrargenossenschaft Braunsberg eG	22	1003	1992–1994 1997–2002
	NEUGRO Landwirtschaft- und Dienste GmbH Großwoltersdorf	84	1905	1988–2002
Unteres Havelland Ertragsreiche Böden in grundwassernahen Lagen	Agrargenossenschaft Hohennauen eG	180	2119	1990–2002
	Agrargenossenschaft Neustadt eG	8	242	1987–2002
Fläming Ertragsarme Böden in grundwassernahen Lagen	Agrargenossenschaft „Der Märker“ Jänickendorf	79	1895	1988–2002
Fläming Ertragsreiche Böden in grundwasserfernen Lagen	Agrargenossenschaft Nuthequelle GmbH Niedergörsdorf	51	1857	1992–2002

Tab. 2: Durchschnittlicher Beginn (julianischer Tag) phänologischer Phasen ausgewählter Fruchtarten in Brandenburg (Mittelwerte der Jahre 1951 bis 2003).

	Bestellung	Saat-aufgang	Beginn Schossen	Bestands-schluss	Ähren-schieben	Blüte	Vollblüte	Reife	Gelbreife	Ernte
Winterraps	239	249	100			129		191		198
Winterroggen	269	281	112		138	151	156	215	201	212
Winterweizen	283	296	123		157			212	205	220
Wintergerste	264	275	113		139			190	183	194
Hafer	88	105	138		166				208	219
Zuckerrüben	108	125		176						294
Kartoffeln	115	142		172		185				266
Silomais	122	136	195			203			258	262

be stellen Angaben zur Abgrenzung der einzelnen Ackerschläge und zu der jeweiligen landwirtschaftlichen Nutzung für den Zeitraum von 1987 bis 2002 zur Verfügung. Die Tab. 1 gibt Auskunft über Anzahl und Gesamtgröße der Ackerschläge, die in die Untersuchung eingegangen sind.

Phänologische Daten

Die entscheidende Variable für die spektrale Charakteristik von Pflanzenbeständen ist die Zeit. Die als langjährige Zeitreihen vorliegenden Eintrittstermine phänologischer Phasen können als Normierungsgrundlage verwendet werden. Entsprechende Angaben findet man z. B. in den agrarmeteorologischen Wochenberichten des DWD. Die notwendigen präzisen Informationen können aber nur aus den stationsbezogenen Aufzeichnungen des DWD abgeleitet werden. Dazu wurden für die im Untersuchungsgebiet relevanten 40 Stationen die dort verzeichneten Eintrittstermine bestimmter Phänophasen genutzt. Aus den Angaben dazu wurde aus einer Zeitreihe von 1951–2003 jeweils der mittlere Termin des Eintretens einer bestimmten phänologischen Phase ermittelt und als „Norm“ gesetzt.

Für ausgewählte Kulturarten sind diese Termine für das Land Brandenburg aus der

nachstehenden Tabelle zu entnehmen. Dabei bezeichnet die Zahlenangabe den Zähltag im Jahr ab dem 1. Januar (julianischer Tag).

5 Entwicklung der Normkurven

Entsprechend dem gewählten Ansatz sollen spektrale Normkurven die phänologische Situation einzelner Kulturen im vollständigen Jahresverlauf abbilden. Eine Normkurve wird dabei von den folgenden drei Parametern bestimmt:

- die normierte Zeitskala (exakte phänologische Einordnung der Satellitenszenen entsprechend der agrarmeteorologischen Informationen),
- die normierte spektrale Information (atmosphärenkorrigierte Datensätze des NDVI),
- die normierte räumliche Zuordnung beider Informationen (schlagbezogene Anbaudaten und schlagbezogene spektrale Information über die NDVI-Werte).

Beachtet werden müssen sowohl räumliche als auch zeitliche Strukturen. Zu berücksichtigen ist insbesondere, dass Boden vorrangig räumliche Differenzierungen besitzt, wogegen Witterung eine Variabilität in Raum und Zeit aufweist. Für die vorgenommenen Untersuchungen wurde ein weitest-

gehend homogener Raum vorausgesetzt, es erfolgte eine Beschränkung auf das Land Brandenburg. Räumliche Inhomogenitäten wurden durch die Einbeziehung verschiedener Bodenregionen und Klimastationen ausgeglichen. Damit konnte der Fokus auf die Zeitstruktur gelegt werden.

Ein bestimmtes Aufnahmedatum bildet nicht in jedem Jahr den gleichen Entwick-

lungszustand von Pflanzenbeständen ab. Er ist wesentlich durch witterungsbedingte Varianzen beeinflusst. Aktuelle Witterungsereignisse weichen in der Regel beträchtlich von den durchschnittlichen Witterungsbeschreibungen eines Jahres ab. Da der Zusammenhang zwischen phänologischem Entwicklungszustand und spektralem Abbild herzustellen ist, muss dem Aufnahme-

Tab. 3: Beschreibung des BBCH-Codes für Winterweizen (Erläuterungen zum BBCH-Code in www.bba.de).

<p>BBCH-Code und Bezeichnung des Makrostadiums</p> <p>Fernerkundungsrelevante Bemerkungen zur Bestandes- und Pflanzenphysiologie und -physiognomie nach OEHMICHEN (1986), GEISSLER (1983) und SEIFFERT (1987)</p>
<p>BBCH-Makrostadium 0 – Keimung</p> <ul style="list-style-type: none"> – Saat von Mitte bis Ende Oktober – Keimdauer bis zum Auflaufen beträgt bei Keimtemperaturoptimum (16–25°)–12 Tage, bei Keimtemperaturminimum (2–4°) mehr als 30 Tage
<p>BBCH-Makrostadium 1 – Blattentwicklung</p> <ul style="list-style-type: none"> – vom Austritt des ersten Blattes aus Keimscheide bis zum Erscheinen von 9 und mehr Blättern – endet noch vor dem Winter
<p>BBCH-Makrostadium 2 – Bestockung</p> <ul style="list-style-type: none"> – beinhaltet generative Entwicklung des Haupthalmes, Beginn der Assimilation – Bestockung vor dem Winter bei üblicher später Aussaat wegen geringer Temperaturen weniger stark ausgeprägt, setzt sich im Frühjahr mit Bildung weiterer produktiver Bestockungstriebe fort – langsamer Temperaturanstieg im Frühjahr führt zu längerer Bestockungsphase und erhöhter Bestandesdichte, schneller Temperaturanstieg führt zu schnellerem Übergang zum Schossen, – Trockenheit führt zur Verringerung der Anzahl produktiver Bestockungstriebe (Bestandesdichte wird verringert angelegt) – dauert bis Anfang Mai
<p>BBCH-Makrostadium 3 – Schossen</p> <ul style="list-style-type: none"> – Streckung der 5 bis 7 Internodien von unten nach oben – Hauptphase der Längen- und Massenentwicklung der oberirdischen Biomasse und der Wurzeln – photosynthetische Leistung kommt aus 3 oder 4 jüngsten (obersten), größten Blättern – die intensive Masseentwicklung führt oft zu Trockenheitsstress in Schossphase, damit zu verringerter Anzahl von ährentragenden Halmen (Bestandesdichte) und Blütenanlagen je Ährchen, – Wassermangel wirkt sich auf Trockenmassebildung der Pflanze aus und bewirkt beschleunigte Pflanzenalterung (verfrühtes Eintreten des Ährenschiebens) – Andauer etwa 35 Tage
<p>BBCH-Makrostadium 4 – Ährenschnellen</p> <ul style="list-style-type: none"> – verläuft zeitgleich mit Schossen – maximaler LAI wird erreicht (bei voller Entwicklung Werte um 6–7, auch > 10 möglich) durch starkes Wachstum von Blättern und Halm, später gehört auch Ähre zu assimilierenden Teilen
<p>BBCH-Makrostadium 5 – Ährenschieben</p> <ul style="list-style-type: none"> – letztes Internodium mit Ähre streckt sich, Längenwachstum der Halme wird abgeschlossen, Gesamtlänge nimmt noch zu – Wassermangel führt zur Verringerung der Anzahl der zur Befruchtung kommenden Blüten – Bestandesphysiognomie ändert sich durch Überdeckung der Blätter durch Ähren

Tab. 3: (Fortsetzung)

<p>BBCH-Makrostadium 6 – Blüte</p> <ul style="list-style-type: none"> – Blüte setzt nach vollständigem Erscheinen der Ähre vor Abschluss der Pflanzenstreckung ein – Bestand blüht geschlossen ab (von Mitte der Ähre nach oben und unten gleichmäßig fortsetzend) – Andauer der Blüte ist temperaturabhängig (Ähre selbst blüht eine Woche) – Gesamtlänge der Pflanze wird erreicht – ebenso maximale Wurzelmasse, 80–85 % aller Wurzeln in Tiefen < 30 cm
<p>BBCH-Makrostadium 7 – Fruchtentwicklung</p> <ul style="list-style-type: none"> – Phase der Kornfüllung mit BFI von nur noch 50 % des Maximum – Wassermangel führt zu beschleunigtem Kornwachstum und vermindertem Kornertrag – Phase teilt sich in: <ul style="list-style-type: none"> → Wasserreife: 95 % Wasser in Fruchtknoten, 5 % Kornfüllung, 2 Wochen nach Blüte → Dünnmilchreife: 70–80 % Wasser, 30 % Kornfüllung, 4. Woche nach Blüte, Bestand grün, unterste Blätter sterben ab → Milchreife/Grünreife: 60 % Kornfüllung, 50–60 % Wasser im Korn, 5. Woche nach Blüte, Bestand im Kopf noch ganz grün, unten abgestorben, dazwischen verfärbt → späte Milchreife: nur Kopf noch grün
<p>BBCH-Makrostadium 8 – Fruchtreife</p> <ul style="list-style-type: none"> – Phase teilt sich in: <ul style="list-style-type: none"> → Teigreife/Gelbreife: 90 % Kornfüllung, 30–40 % Wasser im Korn, 6. bis 7. Woche nach Blüte, Bestand zeigt Abreifeverfärbungen im Kopf (gelb bis hellgrün), Spelzen schon strohfarbig, Korn schrumpft, ist etwas knetbar und leicht zu brechen, teigiger/zäher Brei tritt aus, Assimilatverlagerung noch nicht beendet, Bestand schnitt- und bindereif,
<ul style="list-style-type: none"> → Vollreife: 100 % Kornfüllung, 20 % Wasser im Korn, 8. Woche nach Blüte: Pflanze voll abgestorben, Halmknoten eingetrocknet, Assimilatverlagerung beendet, Korn ist druschfähig, aber noch nicht lagerfähig
<p>BBCH-Makrostadium 9 – Absterben</p> <ul style="list-style-type: none"> – Phase beinhaltet: <ul style="list-style-type: none"> → Tot- und Mähdruschreife: 14–16 % Wasser im Korn, überreifer Bestand → danach ist Kornausfall möglich, Halme brechen zusammen

datum einer Szene ein eindeutiger Entwicklungszustand zugeordnet werden. Diese zeitliche Kalibrierung ist Grundvoraussetzung für die Berücksichtigung jahresübergreifender Daten und ermöglicht den Einsatz eines universellen Klassifikators auf der Basis der spektralen Normkurven.

Im vorgestellten Ansatz wurden witterungsbedingte Korrekturen in die Datenaufbereitung integriert und der eigentliche Aufnahmezeitpunkt in das jeweils kulturspezifische phänologische Normjahr eingepasst. Die Korrekturen müssen bezogen auf die jeweilige Kultur getrennt vorgenommen werden, da alle Kulturen unterschiedlich auf eine konkrete Witterungssituation reagieren.

Die Einordnung der Aufnahmetermine in die Zeitskala erforderte die Hinzuziehung

der agrarmeteorologischen Informationen sowie von Kenntnissen über die Abläufe der Phänologie für die einzelnen Kulturen. Beschreibungen dieser Art bestehen aus der Abfolge markanter Wuchszustände, im Falle des beschriebenen BBCH-Codes in Makro- und Mikrostadien gegliedert.

Das Wissen über die Physiognomie des Pflanzenbestandes zu den Entwicklungsstadien bildet das Gerüst für die Entwicklung der Normkurven. Für die spektrale Beschreibung der Stadien können über die Kenntnis ihrer Eintrittstermine die Spektralinformationen der Fernerkundungsdaten genutzt werden.

Der im jeweiligen Satellitendatensatz abgebildete und durch die Beobachtungsdaten des DWD bestimmbare Zustand musste in die mittlere Zeitskala transformiert werden.

Tab. 4: Beispiel für die Einpassung einer Satellitenszene in das Normjahr – Kultur Winterweizen.

Aufnahmedatum der Satellitenszene	Zähltag im Jahr nach Aufnahmedatum	Mittlerer phänologischer Entwicklungszustand zum Aufnahmezeitpunkt	Tatsächlicher phänologischer Entwicklungszustand zum Aufnahmezeitpunkt	Korrekturwert	Korrigierter Zähltag
05.05.1995	125	2 Tage nach mittlerem Schossbeginn	9 Tage nach Schossbeginn	+ 7	132

So können für jede Kultur getrennt Korrekturen der Terminierung der Szenen abgeleitet werden. Der tatsächliche Aufnahmeterrmin (Zähltag im Jahr ab jeweils 01. Januar) wird mittels des tatsächlichen, witterungsverursachten phänologischen Entwicklungszustandes auf das phänologische Normjahr übertragen und entsprechend dem Zähltag korrigiert. Exemplarisch ist die Verfahrensweise in der Tab. 4 dargestellt.

Im Resultat erhält man zeitlich kalibrierte Datensätze. Damit stehen für die Beschreibung der Phänologie von Weizen zeitlich abgestimmte Informationen aus mehreren Jahren zur Verfügung. Die vorgenommenen Korrekturen zur phänologischen Einpassung der 35 Aufnahmetermine werden in Tab. 5 dargestellt.

Für die Entwicklung der spektralen Normkurve für Winterweizen stehen für jeden der 35 Satellitendatensätze die folgenden drei Informationen zur Verfügung:

- der korrigierte Zähltag der Szene und der abgebildete phänologische Zustand,
- die flächendeckende NDVI-Information (atmosphären- und lagekorrigiert),
- die aus den Anbauinformationen gewonnene Lageinformation von Weizenschlägen.

Durch den Verschnitt der Daten wurden zeitpunktbezogene, einen bestimmten Entwicklungszustand repräsentierende, spektrale Informationen von Weizen gewonnen. Sie bildeten die Stützpunkte für die spektralen Normkurven. Das bedeutet, dass auf der Grundlage der Schlaginformation die NDVI-Statistiken gewonnen wurden. Alle

Spektralinformationen einer Kultur (zu allen Zeitpunkten und in allen Beispielbetrieben) wurden zu einer Datenbank vereint, die sich im Falle von Weizen 345 Basisdatensätzen aufbaut.

Diese Daten wurden einer ersten Güteabschätzung unterzogen. Schläge mit deutlich abweichender Spektralcharakteristik und solche von geringer Größe wurden nicht berücksichtigt. Getrennt nach den Agrarbetrieben wurde für die einzelnen Zeitpunkte ein mittlerer Spektralwert berechnet. Diese zeigen noch den Einfluss der Bodenregion. Unter Einbeziehung von Zusatzwissen wurden diese Mittelwerte erneut gütebewertet und gingen gewichtet in die Berechnung der Stützpunkte der Normkurve ein.

Trotz umfangreicher Satellitendatenbasis bleiben Informationslücken bei der Kurvenbeschreibung. Diese konnten aus der Kenntnis zwingender Zusammenhänge zwischen phänologischem Zustand und spektraler Charakteristik geschlossen werden. Mit diesem Hintergrundwissen können die fehlenden Werte in der spektralen Normkurve künstlich erzeugt und der Kurvenverlauf gegebenenfalls geglättet werden. Die Abb. 2 zeigt die so generierte Normkurve für Winterweizen.

Winterweizen besitzt den am spätesten einsetzenden phänologischen Zyklus der Winterkulturen. Saataufgang ist um den 300sten Tag. Es verbleibt nur noch eine kurze vorwinterliche Wachstumszeit. Ein geringes und auch verhältnismäßig langsames Ansteigen der NDVI-Werte ist die Folge. Während der Winterruhe wird das niedrige

Tab. 5: Potenzielle phänologische Information der Satellitenszenen für Winterweizen.

Korrigierter Zähltag	Tatsächlicher phänologischer Entwicklungszustand	BBCH Code	Aufnahmedatum der Satellitenszene	Zähltag nach Aufnahmedatum
12	Bestockung (Winterruhe)	1	12. 01. 1989	12
32	Bestockung (Winterruhe)	1	01. 02. 1996	32
43	Bestockung (Winterruhe)	1	12. 02. 2000	43
95	Bestockung	2	26. 03. 1998	85
106	Bestockung	2	21. 04. 1996	111
110	Bestockung	2	24. 04. 1997	114
118	Bestockung	2	15. 04. 1988	105
122	Schossen	3	29. 04. 1987	119
130	Schossen	3	30. 04. 1999	120
132	Schossen	3	05. 05. 1995	125
134	Schossen	3	02. 05. 2000	122
139	Schossen	3	09. 05. 1988	129
151	Schossen	3	02. 06. 1997	153
152	Schossen	3	28. 05. 1992	148
154	Schossen	3	08. 06. 1996	169
173	Blüte	6	21. 06. 1998	172
179	Blüte	6	19. 06. 2000	170
184	Milchreife	7	08. 07. 1995	189
195	Milchreife	7	11. 07. 1999	192
204	Start Gelbreife	8	07. 07. 1989	188
210	Gelbreife	8	21. 07. 1994	202
212	Gelbreife	8	11. 08. 1996	223
224	kurz nach Ernte, Stoppelreste	–	11. 08. 2002	223
226	kurz nach Ernte, Stoppelreste	–	09. 08. 1995	221
228	kurz nach Ernte, Stoppelreste	–	14. 08. 2000	226
233	kurz nach Ernte, Stoppelreste	–	20. 08. 2002	232
234	nach der Ernte	–	22. 08. 1994	234
239	nach der Ernte	–	27. 08. 2002	239
247	nach der Ernte	–	04. 09. 1987	247
255	nach der Ernte	–	12. 09. 2002	255
256	nach der Ernte	–	13. 09. 1999	256
258	nach der Ernte	–	15. 09. 1991	258
258	nach der Ernte	–	15. 09. 1997	258
288	Bestellung	0	14. 10. 1996	287
293	Start Auflaufen	1	25. 10. 1994	298

Niveau in etwa gehalten. Der Winterweizen startet seine Hauptwachstumsphase im Frühjahr aufgrund des geringeren Bedeckungsgrades von einem deutlich niedrigeren Niveau als die anderen Winterfrüchte, die Startwerte von 0,3 bis 0,42 besitzen. Winterweizen erreicht derartige Werte erst 35 Tage nach Vegetationsbeginn. Dieser Zeitverzug verringert sich nur geringfügig, so dass der NDVI-Höchstwert von 0,77 zu Beginn des Ährenschiebens im Vergleich zu den anderen Winterkulturen auch erst später erreicht wird. Während des vorangehenden Schossens steigt der NDVI zunächst rapide an, zum Ende dieser Phase nimmt seine Größe wegen des weitgehenden Bestandesschlusses

nur noch geringfügig zu. Das allmähliche Erscheinen der Ähren mit dem im Vergleich zu den Blättern geringeren Chlorophyllgehalt wirkt sich in der Kurve mit einem langsamen Rückgang des NDVI aus. Das Ende der Blüte markiert den Beginn des Reifeprozesses. Bis zum Beginn der Gelbreife, wenn auch die Ähre und das Fahnenblatt der Pflanze Abreifeerscheinungen zeigt, nimmt der Chlorophyllgehalt kontinuierlich ab. Auch wenn das Vergilben von unten her einsetzt, macht sich dieser Prozess im Bestand mit stetiger Abnahme des NDVI bemerkbar. Nach der Gelbreife nimmt der NDVI nicht mehr stark ab, das im roten Lichtbereich aktive Chlorophyll ist weitest-

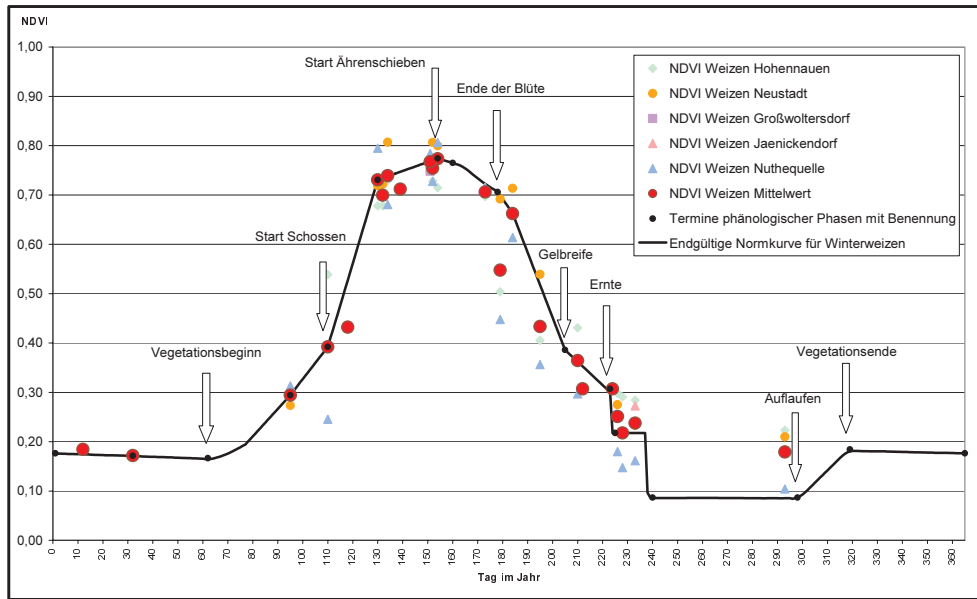


Abb. 2: NDVI-Normkurve für Winterweizen im Vergleich zu Mittelwerten aus Beispielsbetrieben.

gehend abgebaut. Der Reifeprozess von Winterweizen setzt später ein als bei den anderen Winterfrüchten und endet zuletzt. Die Ernte erfolgt um den 225ten Tag, ab dem 240sten Tag wird das Feld nach der Beräumung zur weiteren Nutzung frei.

Der phänologische Ablauf wird so spektral als zeitlich genormte Kurve des mittleren NDVI-Verhaltens eines Winterweizenbestandes abgebildet. Bei Kenntnis des abgebildeten Entwicklungszustandes in einer Satellitenaufnahme kann aus dieser Kurve der für diesen Zustand typische Spektralwert entnommen und zur Klassifizierung verwendet werden (ITZEROTT & KADEN 2004 und 2005).

6 Fazit

Moderne Geofernerkundung wird immer mehr auf multitemporale Vorteile abzielen. Dies impliziert eine Vergleichbarkeit der genutzten Bilddaten und erfordert ihre Kalibrierung bis hin zur Zeitschiene. Übertragbare Klassifikatoren werden in den Fokus gerückt, damit auf dieser Basis Monitoringansätze umgesetzt werden können. Die vor-

gestellten Untersuchungen beschäftigen sich mit der Ableitung spektraler Normkurven. Diese stellen zur Zeitachse kalibrierte spektrale Daten zur Verfügung, die in einen universellen Klassifikator eingehen können.

Exemplarisch wird die Vorgehensweise für das Flächennutzungs-Monitoring an der Ackerkultur Winterweizen vorgestellt. Eine Übertragbarkeit ist möglich und wurde für die das Anbauspektrum des Landes Brandenburg bestimmenden Kulturen bereits durch die Autoren vollzogen (ITZEROTT & KADEN 2005). Einflussgrößen auf die Güte der Normkurve sind die exakte Einordnung der spektralen Information der Bilddaten in die Zeit- und Werteskala (unter Verwendung der phänologischen, geometrischen und Atmosphärenkorrektur), die Anzahl der einbezogenen Satellitenaufnahmen (mit der Repräsentanz der entscheidenden phänologischen Phasen) und die Güte der Anbauinformation (mit Anzahl sowie räumlichen und zeitlicher Verteilung der Beispielflächen).

Für die vorgenommene Ableitung der Normkurven stand eine beachtliche Datenbasis zur Verfügung. Dennoch entstehen

Lücken in einzelnen Zeitfenstern. Nachdem für die eingeflossenen Untersuchungsjahre bereits alle zur Verfügung stehenden Szenen des Landsat-Systems genutzt wurden, bedarf es für den Lückenschluss der Nutzung der vorgelagerten Jahre (verbunden mit dem Problem der Beschaffung der Anbauinformationen) oder des Rückgriffs auf andere Aufnahmesysteme (die in ihrer spektralen und radiometrischen sowie ihrer geometrischen Auflösung z. T. erheblich von den genutzten Daten abweichen). Gleichwohl werden die erzeugten Normkurven als tragfähige Grundlage zur Gewinnung genormter Spektralinformationen von Ackerkulturen angesehen. Das ist für Monitoringkonzepte zur Flächennutzung zwingend erforderlich.

Danksagung

Diese Arbeit wurde im Rahmen des Forschungsprojektes „Bewirtschaftungsmöglichkeiten im Einzugsgebiet der Havel“ durchgeführt (BRONSTERT et al. 2005) und vom BMBF unter dem Kennzeichen 0330227 gefördert.

Literatur

- BARSCHE, H. & SÖLLNER, R., 1987: Erfassung von Komponenten der Ertragsbildung in agrotechnischen Geosystemen auf der Grundlage spektraler Signaturen – Ergebnisse des Interkosmos-Experimentes KURSK-85. – Petermanns Geographische Mitteilungen, **131**(1): 41–50.
- BRONSTERT, A. et al., 2005: Bewirtschaftungsmöglichkeiten im Einzugsgebiet der Havel – Abschlussbericht zum BMBF-Projekt. – Brandenburgische Umweltberichte, im Druck, Potsdam.
- GEIßLER, G., 1983: Ertragsphysiologie von Kulturarten des gemäßigten Klimas. – Parey, Berlin.
- GRENDÖRFFER, G., 1998: Fernerkundung zur teilschlagspezifischen Bewirtschaftung. – Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung, **66** (5–6): 135–145.
- ITZEROTT, S. & KADEN, K., 2004: Klassifikation agrarischer Nutzungen unter Verwendung spektraler Normkurven. – Hallesches Jahrbuch Geowissenschaften, **A26**: 93–110.
- ITZEROTT, S. & KADEN, K., 2005: Erfassung von Modellbezugsflächen und Bereitstellung von flächenbezogenen Parametern aus Fernerkundungsdaten – Abschlussbericht des Teilprojektes 6 im Rahmen des BMBF-Projektes „Bewirtschaftungsmöglichkeiten im Einzugsgebiet der Havel“. unveröff., Potsdam.
- JACKSON, R. D., 1983: Spectral indices in n-space. Remote Sens. Environ., **13**: 409–421.
- KADEN, K., ITZEROTT, S., ZEBISCH, M. & FRITSCHE, U., 1999: Räumliche Unterschiede im Wassertransfer (Boden-Pflanze-Atmosphäre) in Niederungen des mitteleuropäischen Binnentieflandes. – Potsdamer Geographische Forschungen, **B18**, Potsdam.
- KÖNNECKE, G., 1967: Fruchtfolgen. – Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin.
- LUNETTE, R. S., EDIRIWIKREMA, J., JOHNSON, D. M., LYON, J. G. & MC KERROW, A., 2002: Impacts of vegetation dynamics on the identification of land-cover change in a biologically complex community in North Carolina, USA. – Remote Sens. Environ., **82**: 258–270.
- OEHMICHEN, J., 1986: Pflanzenproduktion. Bd. 2. Produktionstechnik. – Parey, Berlin.
- SEIFFERT, M., 1987: Drusch- und Hackfruchtproduktion. – Deutscher Landwirtschaftsverlag, Berlin.
- STOLZ, R., 1998: Die Verwendung der Fuzzy Logic Theorie zur wissensbasierten Klassifikation von Fernerkundungsdaten. – Münchner Geographische Abhandlungen, **B 26**, GEOBUCH-Verlag, München.
- THENKABAIL, P. S., SMITH, R. B. & DE PAUW, E., 2000: Hyperspectral vegetation indices and their relationship with agricultural crop characteristics. – Remote Sens. Environ., **71**: 158–182.
- WIEGAND, C. L., RICHARDSON, A. J., ESCOBAR, D. E. & GERBERMANN, A. H., 1991: Vegetation indices in crop assessments. – Remote Sens. Environ., **35**: 105–119.

Anschriften der Autoren:

Dr. SIBYLLE ITZEROTT
GeoForschungsZentrum Potsdam
Sektion Fernerkundung
Telegraphenberg A 17, D-14473 Potsdam,
Tel.: 0331-2881107, Fax: 0331-2881192,
e-mail: itzerott@gfz-potsdam.de

Dr. KLAUS KADEN
Universität Potsdam, Institut für Geoökologie,
PF 601553, D-14415 Potsdam,
Tel.: 0331-9772107, Fax: 0331-9772092,
e-mail: kkaden@rz.uni-potsdam.de

Manuskript eingereicht: November 2005
Angenommen: Januar 2006

Multitemporal Hyperspectral Data Analysis for Regional Detection of Plant Diseases by using a Tractor- and an Airborne-based Spectrometer

– Case Study: Sugar beet disease *Rhizoctonia solani* –

RAINER LAUDIEN & GEORG BARETH, Köln

Keywords: remote sensing, sugar beet, hyperspectral remote sensing, GIS, vegetation indices, multitemporal classification

Summary: Every year sugar beet diseases cause lower sugar beet yields and qualities compared to the average. To detect and regionalize this matter of fact, high resolution field, tractor and airborne hyperspectral data were used to recognize a fungal sugar beet disease (*Rhizoctonia solani* var. *betae*) as an example.

For the airborne part of the study, multitemporal hyperspectral remote sensing data was provided by the *Airborne Visible/Near Infrared Imaging Spectrometer* (AVIS), which is operated by the Ground Truth Center Oberbayern (gtco, Germany). Additionally, tractor based multitemporal hyperspectral reflection data provided by the *Ground-operated Visible/Near Infrared Imaging Spectrometer* (GVIS) was used to validate the AVIS data and to compare the classification results.

To indicate the difference between healthy and unhealthy plants a supervised knowledge-based classification approach was used. Beside the usage of multitemporal field based spectroradiometer data, which was collected with the *FieldSpec Handheld* (ASD) and which was used for the supervised knowledge based classification of the tractor- and airborne based datasets, this approach included the elaboration of the reflection results with hyperspectral vegetation indices to detect the sugar beet disease. Therefore, the two multitemporal tractor- and airborne based datasets were analysed by calculating the *Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index* (OSAVI), which is a hyperspectral vegetation index. Finally, the results were classified into nine vitality classes.

This paper presents the evaluation of the generated multitemporal classifications and discusses the possibility of detecting and regionalizing sugar beet diseases with hyperspectral data and methods.

Zusammenfassung: *Multitemporale Analyse hyperspektraler Daten zur regionalen Verortung von Pflanzenkrankheiten unter Verwendung eines traktor- und flugzeuggestützten Spektroradiometers. Fallbeispiel: Zuckerrübenkrankheit Rhizoctonia Solani.* Im Vergleich zu unbefallenen Zuckerrübenschlägen verursachen Krankheiten auf den Feldern jedes Jahr erhebliche Ernteschäden und führen so zu geringen Erträgen. Um kranke Bereiche der betroffenen Schläge zu verorten und zu regionalisieren, wurden im Rahmen der hier vorgestellten Studie hoch auflösende hyperspekturale Feld-, Traktor- und Flugzeugdaten genutzt. Die Ausführungen dieses Beitrags beschränken sich auf die Zuckerrübenpilzkrankheit *Rhizoctonia solani* var. *betae*.

Die multitemporalen hyperspektralen Flugzeugdaten wurden durch das *Airborne Visible/Near Infrared Imaging Spectrometer* (AVIS) erhoben, das von dem Ground Truth Center Oberbayern (gtco, Germany) betrieben wird. Zusätzlich dazu sind multitemporale hyperspektrale, traktorgestützte Reflexionen durch das *Ground-operated Visible/Near Infrared Imaging Spectrometer* (GVIS) gemessen worden, um die AVIS Daten zu validieren und um die Klassifikationsergebnisse zu vergleichen.

Für die Analyse der Unterschiede zwischen gesunden und infizierten Zuckerrüben wurde ein überwachter wissensbasierter Klassifikationsansatz gewählt. Neben der Verwendung von multitemporalen hyperspektralen Felddaten, die mit Hilfe des *FieldSpec Handheld* (ASD) Spektroradiometers erhoben und für die Klassifikationen der beiden traktor- und flugzeuggestützten Daten verwendet wurden, beinhaltet dieser methodische Ansatz auch die Darstellung der Reflexionen unter Verwendung von hyperspektralen Vegeta-

tionsindizes, um die Zuckerrübenkrankheit räumlich zu verorten. Dafür wurden die Datensätze aufbereitet und der hyperspektrale *Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index* (OSAVI) berechnet. In einem letzten Analyseschritt wurden die Ergebnisse in neun Vitalitätsklassen klassifiziert.

Dieser Beitrag zeigt die Auswertung der erzeugten multitemporalen Klassifikationen und diskutiert die Möglichkeit der räumlichen Verortung und Regionalisierung von Zuckerrübenkrankheiten unter Verwendung hyperspektraler Systeme und Methoden.

1 Introduction

For the majority of the European citizens, the availability of daily food with high quality standards is common. Among other things, this matter of fact attributes to the demands of the legislator and the market, who claim quality control and (geo-) traceability of all processes within the food supply chain. With respect to this background, a GIS based Management Information System for Sugar Beet Companies was developed (Sugar Beet Management Information System = SuMIS), which includes geographical, attribute and remote sensing data (LAUDIEN & DOLUSCHITZ 2004, LAUDIEN et al. 2004a; LAUDIEN et al. 2005a, b, c). Therefore, a field based approach was chosen to collect spatial and alphanumeric information of every production step. This enables SuMIS to trace and track in a field based way – from the soil sampling to the beet delivery (“from field to factory”) – and meets the above mentioned requirements.

One objective of SuMIS is to detect sugar beet diseases by using multitemporal hyperspectral remote sensing data provided by an airborne-, tractor- and handheld spectroradiometer. (LAUDIEN et al. 2003, LAUDIEN et al. 2004b, c, e). Two different hyperspectral sensor systems were used to detect the sugar beet disease *Rhizoctonia solani* var. *betae*. This fungal disease rots the beet roots and also causes a weathering of the foliage (RIECKMANN & STECK 1995). *Rhizoctonia solani* attacks the beet in the middle

of its vegetation period. BÜTTNER et al. (2002) estimate the affected area of Germany with 10,000 hectares already in 2001. Studies of German sugar beet seed companies, published via internet (SYNGENTA 2000), strengthen the statement of Büttner and his colleagues. They re-evaluated the disease area of Germany in 2002 and reached the conclusion that the number of the affected fields was nearly reduplicated (ca. 20,000 hectares).

Beside the common survey which is carried out by professionals in several field campaigns, the usage of remote sensing systems, and integrated image analysis can help to recognize, detect and regionalize growth anomalies of large areas (LILLESAND et al. 2004). With this matter of fact, the increasing importance of detecting and locating *Rhizoctonia solani* is not unusual.

For this purpose a method has been developed to visualize diseased and healthy parts of a sugar beet field. Thereby, a knowledge based, multitemporal, hyperspectral approach was used to calculate a sensitive vegetation index.

2 Material

For agricultural applications, the analysis of airborne, field- and satellite-based hyperspectral reflectance data is of increasing importance (CLEVERS & JONGSCHAAP 2001). Consequently, in this study three hyperspectral devices collected reflectance data to detect the disease. In contrast to multispectral

remote sensing the hyperspectral measurements acquire very narrow spectral bands throughout the visible, near infrared and mid-infrared portions of the spectrum. Therefore, the analysis of hyperspectral datasets offers more opportunities compared to multispectral ones. The used three sensors measured the spectral reflectance between the visible and the near infrared part of the electromagnetic spectrum by using several channels and a very narrow spectral interval. With their high spatial resolution, they were able to detect different crop vitalities very detailed.

2.1 Field survey with DGPS

Differential GPS-data, containing the diseased polygon boundaries with at least 25 percent infected area, were collected at selected fields of the study area to validate the multitemporal hyperspectral classification. For this purpose a “Trimble AgGPS® 132” twelve channel receiver was connected to a SOLO CE device to store the incoming data. OmniSTAR differential GPS service was used to correct the data online.

The infected areas of the chosen fields were surveyed during a field campaign in early September 2003. In 2003, the fields of

the whole study area showed single plant infection because of very dry weather conditions. As the regular symptoms of *Rhizoctonia solani* are characterized by circular infection concerning several sugar beet plants, it was almost impossible to collect polygon data via GPS. Therefore, polygons were only stored with at least 25 percent infection.

2.2 Spectral reference measurements with ASD-FieldSpec

To detect the spectral differences between healthy and diseased sugar beets, the hyperspectral spectroradiometer *FieldSpec HandHeld* by ASD (Analytical Spectral Devices) was used to collect field data at an artificial inoculation trial (LAUDIEN et al. 2004c, LAUDIEN et al. 2005d). This reflectance data was archived in a web based spectral library (LAUDIEN et al. 2006).

The ASD handheld spectroradiometer has a wavelength range of 325 nm to 1075 nm with an interval of 1.6 nm and a viewing angle of 25 degrees. For further FieldSpec details see: <http://www.asdi.com>

To archive a useful spatial ground resolution, an additional technical device was developed and constructed in cooperation with the technical department of the Univer-

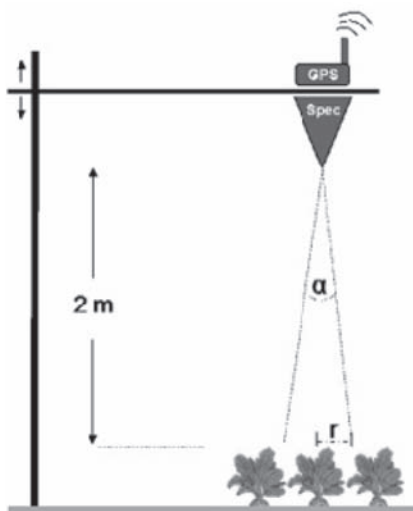


Fig. 1: Designed measurement device for collecting hyperspectral field data.

sity of Hohenheim. Fig. 1 shows the design of the measurement device and a picture of the field campaign with the equipment. Three tent-poles, which were combined with moveable joins, formed the frame of the device. The construction was designed to put the measurement equipment to the desired height above ground. A mounted spirit-level guaranteed vertical nadir measurements.

The spectroradiometer was located two metres above the foliage. The measuring viewing angle (α) of 25 degrees caused a Field of View (A) of 0.62 m² with a Field of View radius (r) of 44 cm (see equations 1 and 2).

$$r = h * \tan\left(\left(\frac{\alpha}{2}\right) * \frac{\pi}{180}\right) \quad (1)$$

$$A = \pi * r^2 \quad (2)$$

To compare healthy and infected sugar beets of the selected fields with the ones of the artificial inoculation trial, spectroradiometer measurements were made every 40 cm per row and were averaged for each treatment plot. The spots were located with a low cost GPS solution (Garmin III Plus) coupled to Software from ESRI (ArcPad, installed on a Compaq iPAQ CE computer) (LAUDIEN et al. 2003, LAUDIEN et al. 2004c).

2.3 Airborne Visible/Near Infrared Imaging Spectrometer (AVIS)

Beside the field measurements provided by the *FieldSpec Handheld Pro*, monthly airborne hyperspectral measurements were taken in the period of June 2003 to September 2003 to regionalize the ground based data. For this purpose, hyperspectral remote sensing data was provided by the "Airborne Visible/Near Infrared Imaging Spectrometer" (AVIS), which is operated by the Ground Truth Center Oberbayern (gtco). The hyperspectral AVIS sensor measures spectral reflectance between 400 and 845 nm by using 63 channels with a spectral interval of 9 nm. At a spatial resolution of 4 meters, the AVIS sensor is able to detect crop vitalities very detailed (MAUSER & OPPELT 2000).

2.4 Ground-operated Visible/Near Infrared Imaging Spectrometer (GVIS)

In contrast to the AVIS Sensor, the "Ground-operated Visible/Near Infrared Imaging Spectrometer" (GVIS) is a ground-based system which allows reflectance data acquisition at field sites by using a tractor as a carrier platform. Besides the flexible and cost-efficient use of GVIS another advantage of the system is the possibility to simultaneously record the reflectance of a reference panel due to a newly developed fiber-optic system. The GVIS sensor collects spectral reflectance data between 380 to 860 nm by using 63 spectral bands. GVIS is mounted 2 m above the foliage and each of the 16 lenses has a viewing angle of 25° (= IFOV of 0,9 m per lens). A custom recording fiber-optic system which consists these 16 lenses enables the simultaneous perpendicular recording of up to 12 m across the driving direction of the tractor (KLOTZ et al. 2003).

3 Methods

The red and near infrared parts of the reflectance spectra are important for agricultural applications (KUMAR et al. 2001). The significant difference of the reflectance at the red portions of the spectra compared to the near-infrared ones can be used to predict vegetation conditions (LILLESAND et al. 2004). DOCKTER et al. (1988) and LICHTI et al. (1997) showed in their hyperspectral studies the spectral differences in winter wheat and sugar beets.

Hyperspectral vegetation indices (HVI) are calculated, by using red and near-infrared reflectance (APAN et al. 2003, LILLESAND et al. 2004). The HVI values are significantly correlated to the vitality of the detected plants. In this study, the *Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index* (OSAVI) of RONDEAUX et al. (1996) was modified and applied to analyse the multitemporal AVIS and GVIS datasets (see equation 3–5). The index was chosen to be the best indicator of the differences between healthy and un-

healthy sugar beets. The equations 4 and 5 present the modified OSAVI for the AVIS/ GVIS data.

$$\text{OSAVI} = \frac{R800 - R670}{R800 + R670 + 0.16} \quad (3)$$

where

$R800$ = reflectance at 800 nm [%]

$R700$ = reflectance at 670 nm [%]

$$\text{OSAVI}_{\text{AVIS}} = \frac{\text{AVIS_channel55} - \text{AVIS_channel37}}{\text{AVIS_channel55} + \text{AVIS_channel37} + 0.16} \quad (4)$$

where

AVIS_channel55 = reflectance at 804.62 nm [%]

AVIS_channel37 = reflectance at 673.38 nm [%]

$$\text{OSAVI}_{\text{GVIS}} = \frac{\text{GVIS_channel67} - \text{GVIS_channel35}}{\text{GVIS_channel67} + \text{GVIS_channel35} + 0.16} \quad (5)$$

where

GVIS_channel67 = reflectance at 799.69 nm [%]

GVIS_channel35 = reflectance at 670.83 nm [%]

The spatial analysis as well as the index calculation and classification were accomplished by using the GIS Software ArcGIS™ 8.3 by ESRI®.

In a first analysis step, the above characterised index was calculated for the four input datasets which were provided by each of the two systems (GVIS and AVIS). Furthermore, the OSAVI of infected sugar beets was identified by using the *FieldSpec* data of June 25th, July 30th, August 27th and September 19th (see Tab. 1).

The flow chart of Fig. 1 shows the developed and used knowledge based approach. In a first analysis step, the OSAVI (which is described in equation 3) was calculated for each monthly GVIS and AVIS scene. The result of that procedure was an “OSAVI image”. After that, the given *FieldSpec* OSAVI values of the inoculation trial were used as an input threshold for the

Tab. 1: Index minima (OSAVI) of the artificial inoculation trial (collected with the *FieldSpec*) at the four GVIS/ AVIS collecting dates.

GVIS/AVIS collecting date	Minimum value (OSAVI)
06/25/2003	0.600
0730/2003	0.520
08/27/2003	0.405
09/19/2003	0.430

analysis to mask most of the abiotic growth-anomalies.

This enabled the generation of four quasi binary images (“OSAVI Clips”). The “OSAVI Clip” image only consisted of two values: 1 and “no Data” (“no Data” = no pixel value). Pixels, which show higher values than the threshold (see Tab. 1) received value 1, all others got the value “no Data”. The clipping procedure calculated the “OSAVI biotic” image by multiplying the four “OSAVI images” by the four “OSAVI Clips”. With this procedure, the results contained only the pixels, which showed higher values than the index minima. Additionally, the majority of unwanted field border effects were reduced by assigning the value “no Data”.

Considering the hypothesis that the *FieldSpec* threshold indicated the minimum reflectance of infected sugar beet leaves at a specific collecting date, four raster images could be generated (OSAVI biotic) which did not contain most of the abiotic parameters anymore. After creating these four “OSAVI biotic” images they were combined by using the “add” tool of the ArcGIS™ Raster Calculator. This algorithm only allocated OSAVI values to these pixels which did not contain the value “no Data” in one or more of the four “OSAVI biotic” images. The pixels which showed the value “no Data” in one or more of the “OSAVI biotic” images received the value “no Data”. The result of this procedure was a multitemporal HVI image (OSAVI multi).

In the last step the “OSAVI multi” image was classified into nine vitality classes by using the “Quantile Classification Method” of



Fig. 2: Knowledge based multitemporal analysis method (note: the threshold values of the clip procedures are chosen out of Tab. 1, figure = exemplarily for the AVIS data) (LAUDIEN et al. 2004c).

ArcGIS™ Spatial Analyst. Additionally, the GPS polygons of the field campaign were added to the ArcGIS™ 8.3 project as an overlay layer, to validate and compare the multitemporal classification.

4 Results

Fig. 2 shows the above described knowledge based hyperspectral analysis method considering the scene of June as an example. After calculating the OSAVI for all pixels, a binary image was produced. This clipped image included all pixels with higher values than the specific threshold of the collecting date. The OSAVI biotic image of June was calculated by multiplying the “Clip” by the “OSAVI June” image.

Figs. 3 and 4 present the multitemporal classification results of two selected fields (see methodological approach shown in Fig. 1 for details). According to the leaf vitality of sugar beets, the values of the calculated OSAVI were increasing with healthier and decreasing with unhealthy plant conditions. The multitemporal images were classified into nine vitality classes. Low index values (healthy plants) are displayed in cold colours (blue, green). High index values (unhealthy plants) were associated with warm colours (yellow, orange, red). Significant differences concerning plant vitalities within the fields can be identified. By using the above described knowledge based classification approach most of the abiotic factors (field border effects, bare soil, etc.) were clipped in an early stage of the analysis. Therefore, the multitemporal results show

many unclassified areas within the two fields.

The overlay of the GPS polygon layer confirms the difficulty of surveying single infected plants within a field. The stored polygons including at least 25 percent infected sugar beets do not match the spatial distribution of the remotely sensed uninfected plants very detailed.

The area of “no Data” in the western part of the southern field (see Fig. 2) comes from the incomplete AVIS dataset of July. As there occurred sensor problems during collecting the reflectance data, the “flight-stripe” had to be cut off. Hence, the multitemporal algorithm assigned “no Data” for that region of the field. In contrast to the tractor based GVIS system a major advantage of AVIS is its very time-efficient manner of collecting reflectance data of a large area. The GVIS device can only be used to record data of small areas (field size). But as the spatial resolution of GVIS is much higher than the one of the AVIS the classification result is more detailed. Therefore, smaller infected areas can be differentiated a lot better.

Fig. 3 presents that advantage of the GVIS system. Compared to the AVIS classification the one of GVIS shows more abiotic field border effects. That results in much lower classification accuracy. Imprecise calibrations of the two systems by gtc0 (AVIS, GVIS) caused different reflection value ranges and caused these hardly comparable classification results. Nevertheless, the advantages of the used two hyperspectral devices are obvious.

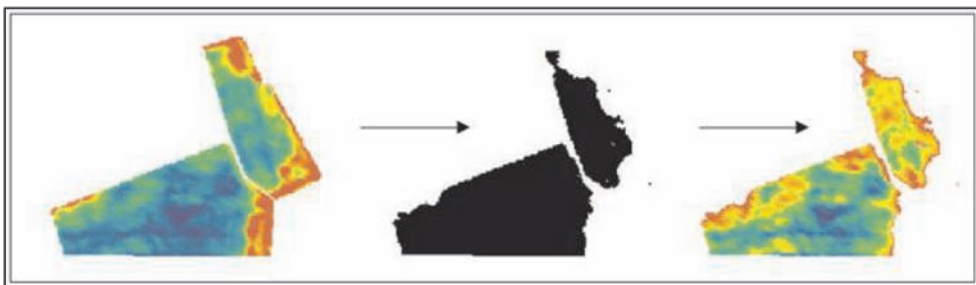


Fig. 3: Knowledge based approach considering the image of June as an example.

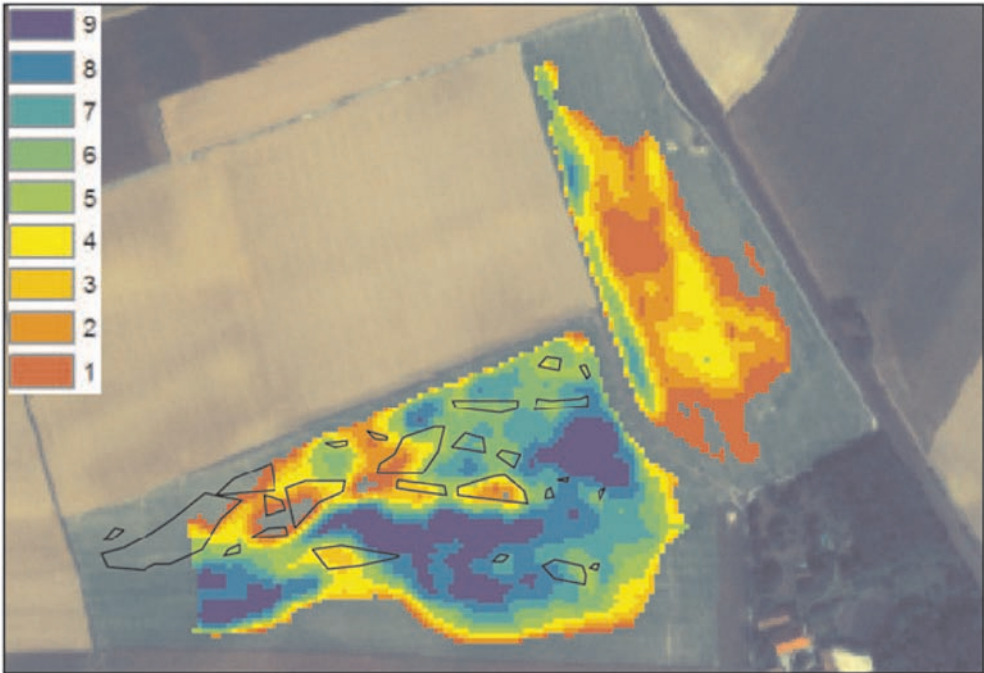


Fig. 4: Multitemporal AVIS classification result and GPS-polygon overlay with at least 25% infected area (note: GPS measurements were only taken at one field).

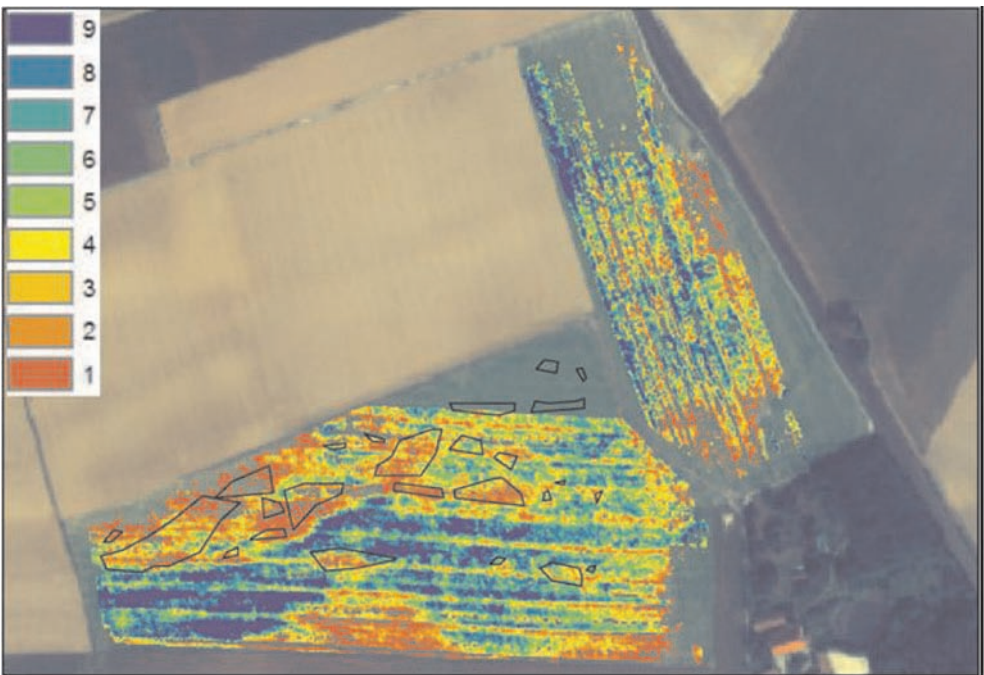


Fig. 5: Multitemporal GVIS classification result and GPS-polygon overlay with at least 25% infected area (note: GPS measurements were only taken at one field).

Both multitemporal classifications (see Figs. 2 and 3) show significant differences in plant vitalities within the fields under investigation. In combination with the DGPS measurements and the knowledge of the disease (disease stages, dispersion, etc.) the hyperspectral results can be used to detect, differentiate and regionalize healthy and diseased sugar beets.

Discussion

In this study, an airborne multitemporal hyperspectral remote sensing dataset was classified on the basis of hyperspectral field data by using a hyperspectral vegetation index. In contrast to the conventional sugar beet disease survey, shape and structure of the infected areas within the selected fields could be spatially identified by using a multitemporal knowledge based classification approach.

Field based hyperspectral measurements and a tractor and an airborne hyperspectral sensor were used to detect sugar beet reflectance. Compared to satellite based systems, tractor and airborne platforms are more flexible concerning collecting date, repetition rate and weather conditions.

In general, the immense advantage of a hyperspectral device is its very high spectral resolution. The possibility of analysing datasets by using hyperspectral vegetation indices for the detection of plant vitalities instead of common multispectral ones – i. e. the OSAVI (which was used in this study) or the hyperspectral index of GITELSON et al. (1996) – offers more opportunities for agricultural applications (APAN et al. 2003). The mathematical possibilities of band calculations and combinations for the creation of new HVI are disproportionately enhanced. In the beginning of the GVIS and AVIS data analysis for this study, the calculation and interpretation of several HVI resulted in using the OSAVI because of its low sensitivity concerning bare soil and other abiotic parameters. Furthermore, the OSAVI showed a high range between values of infected and healthy sugar beets.

Beside the data analysis of the tractor and airborne sensor, a hyperspectral library was generated by using weekly field based reflectance data of the artificial inoculation trail which were collected with the FieldSpec Handheld (LAUDIEN et al. 2005d). This web based spectral library contains the reflectance characteristics of the sugar beet disease *Rhizoctonia solani* and could be used as a reference for the regionalization. As the infection of the disease and its outbreak were not typical in 2003 and the spatial resolutions of the input datasets were too low for detecting single affected plants with a significant accuracy, the D-GPS polygon measurements showed not the quality of those having been collected in previous years. Circular affected areas within the selected fields did not occur in 2003. This reason was reasonable for the above described low significance. Furthermore, “mixed pixel phenomena’s” within the GVIS and AVIS scenes covered the unusual situation of 2003, too.

Conclusions

Monitoring plant diseases during the circle of field production is one main objective within the food supply chain. Therefore, modern computer based Decision Support Systems (DSS) should include tools to detect and regionalize such plant conditions. Furthermore, demands of the EU market and the agricultural policy concerning food quality and documentation push the development of computer based Geographical Information Systems (GIS), which meet these requirements. The presented disease detection and regionalisation approach is part of a developed GIS-field based Sugar Beet Management Information System (SuMIS) (LAUDIEN et al. 2004a, LAUDIEN & DOLUSCHITZ 2004, LAUDIEN et al. 2005a, b, c). SuMIS contains several types of geo-data which were collected in a local pilot region to fulfil the qualifications of a functional field based GIS. It includes – beside many other important tools – the visualisation, the documentation and the detection of all processes within a cultivation year of sugar beets.

Acknowledgements

This study as well as the development of SuMIS were enabled by a cooperation between the sugar company Südzucker AG and the University of Hohenheim (Stuttgart), Germany and founded by the “Kuratorium für Versuchswesen und Beratung im Zuckerrübenbau”, Germany.

References

- APAN, A., HELD, A., PHINN, S. & MARKLEY, J., 2003: Formulation and Assessment of Narrow-Band Vegetation Indices from EO-1 Hyperion Imagery for Discriminating Sugarcane Disease. – Proceedings of the Spatial Sciences Conference, Sep. 22nd–27th, 2003, Canberra: 1–13.
- BÜTTNER, G., ITHURRAT, M.E.F. & BUDEMMEYER, J., 2002: Späte Rübenfäule *Rhizoctonia solani* – Verbreitung, wirtschaftliche Bedeutung und integrierte Bekämpfungskonzepte. – Zuckerindustrie, **127**: 856–866.
- CLEVERS, J.P.G.W. & JONGSCHAAP, R., 2001: Imaging spectrometry for Agricultural Applications. – In: VAN DER MEER, F.D. & DE JONG, S.M. (Eds.): *Imaging Spectrometry: Basic Principles and Prospective Applications*. – 157–199, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- DOCKTER, K., KÜHBAUCH, W., BOOCHS, F., VON RÜSTEN, C., TEMPELMANN, U. & KUPFER, G., 1988: Die spektrale Reflexion von Zuckerrübenbeständen im sichtbaren und infraroten Wellenlängenbereich während des Wachstums. – Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, **1**: 55–57.
- GITELSON, A., MERZLYAK, M.N. & LICHTENTHALER, K., 1996: Detection of red edge position and chlorophyll content by reflectance measurements near 700 nm. – *Journal of Plant Physiology*, **148**: 501–508.
- KUMAR, L., SCHMIDT, K., DURY, S. & SKIDMOR, A., 2001: *Imaging Spectrometry and Vegetation Science*. – In: VAN DER MEER, F.D. & DE JONG (Eds.): *Imaging Spectrometry: Basic Principles and Prospective Applications*. – 111–155, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- KLOTZ, P., BACH, H. & MAUSER, W., 2003: GVIS – Ground-operated Visible/Near-Infrared Imaging Spectrometer. – In: WERNER, A. & JARFE, A. (Hrsg.): *Programme book of the joint conference of ECPA – 315–321, ECPLF, Wageningen, The Netherlands, Wageningen Academic Publishers, June 2003*.
- LAUDIEN, R., BARETH, G. & DOLUSCHITZ, R., 2003: Analysis of hyperspectral Field Data for detection of sugar beet diseases. – In: HARNOS, Z., HERDON, M. & WIWCZAROSKI, T.B. (Eds.): *Information technology for a better agri-food sector, environment and rural living. – Proceedings 4th Conference of the European Federation for Information Technology in Agriculture, Food and Environment, Vol. I, 375–381, Debrecen, Budapest, Hungary*.
- LAUDIEN, R., BÜRCKY, K. & DOLUSCHITZ, R., 2004a: Development of a field-based Management Information System for sugar beet companies. – *Sugar Industry*, **8**: 565–567.
- LAUDIEN, R., BARETH, G. & DOLUSCHITZ, R., 2004b: Comparison of remote sensing based analysis of crop diseases by using high resolution multispectral and hyperspectral data – case study: *Rhizoctonia solani* in sugar beet. – 670–676, Proceedings of the 12th International Conference on Geoinformatics, June 7th–9th, Gävle.
- LAUDIEN, R. & DOLUSCHITZ, R., 2004: Führungsinformationssystem für die Wertschöpfungskette in der Zuckerwirtschaft. – *Landinfo*, **3**: 56–60.
- LAUDIEN, R. & DOLUSCHITZ, R., 2005a: GIS-gestützte schlagbezogene Dokumentation in der Zuckerwirtschaft und deren Nutzen: Das Sugar Beet Management Information System (SuMIS). – *Zeitschrift für Agrarinformatik*, **13** (3): 55–63.
- LAUDIEN, R., BARETH, G. & DOLUSCHITZ, R., 2005b: Geotracking and -tracing from farm to factory – Case study: Sugar Beet Management Information System (SuMIS). – EFITA/WCCA, Vial Real, Portugal, CD-Rom.
- LAUDIEN, R., BARETH, G. & DOLUSCHITZ, R., (2005c): Lückenlose, GIS-gestützte Dokumentation im Zuckerrübenanbau SuMIS und dessen WinCE-Logistikprogramm zur mobilen Datenerhebung. – *GeoBIT/GIS Zeitschrift für raumbezogene Informationen und Entscheidungen*, **11**: 10–15.
- LAUDIEN, R., BARETH, G. & DOLUSCHITZ, R., (2005d): Multitemporal hyperspectral data analysis for regional detection of plant diseases by using an airborne- and tractor-based spectrometer – Case study: Sugar beet disease *Rhizoctonia solani*. – In: TANG, X., LIU, Y., ZHANG, J. & KAINZ, W. (Eds.): *Proceedings of International Symposium on Spatio-temporal Modeling, Spatial Reasoning, Spatial Analysis, Data Mining and Data Fusion, Beijing/China, 27.–29.08. 2005*: 265–269.
- LAUDIEN, R., BÜRCKY, K., DOLUSCHITZ, R. & BARETH, G. (2006): Aufbau einer webgestützten Spektralbibliothek zur Analyse hyperspek-

- traler Daten von mit *Rhizoctonia solani* inokulierten Zuckerrüben. – Sugar Industry (eingereicht).
- LICHTI, C., STICKSEL, E. & MAIDL, F.-X., 1997: Feldspektroskopische Messungen als Hilfsmittel für eine teilschlagbezogene Bestandesführung. – Mitteilungen der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften, **10**: 271–272.
- LILLESAND, T.M., KIEFER, R.W. & CHIPMAN, J.W., 2004: Remote Sensing and Image Interpretation. – 5th ed., New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore.
- MAUSER, W. & OPPELT, N., 2000: AVIS – Ein neuer Sensor für Umweltmonitoring und Precision Farming. – In: BIRKNER, U., AMON, H., OHMAYER, G. & REINER, L. (Eds.): Referate der 21. GIL-Jahrestagung. Proceedings 21. GIL-Jahrestagung, Freising-Weihenstephan, Deutschland, Band **13**: 274–277.
- RIECKMANN, W. & STECK, U., 1995: Krankheiten und Schädlinge in der Zuckerrübe. – 42–43, Verlag Th. Mann, Gelsenkirchen.
- RONDEAUX, G., STEVEN, M. & BARET, F., 1996: Optimisation of Soil-Adjusted Vegetation Indices. – Remote Sensing of Environment, **55**: 95–107.
- SYNGENTA, 2000: URL <http://syngenta.de/schadorganismen/fung/104.htm> (Stand: 15.11.02)
- Anschrift der Autoren:
Dr. RAINER LAUDIEN
Prof. Dr. GEORG BARETH
Universität Köln, Geographisches Institut,
Abt. GIS and Remote Sensing,
Albertus-Magnus-Platz,
D-50923 Köln
Tel.: +49-221-470-6552, Fax: +49-221-470-1638
rlaudien@uni-koeln.de, g.bareth@uni-koeln.de
- Manuskript eingereicht: Januar 2006
Angenommen: Februar 2006

ICM Algorithm for the Bayesian Reconstruction of Tomographic Images

KARL-RUDOLF KOCH, Bonn

Keywords: image processing, tomographic images, Bayesian reconstruction, image smoothing

Summary: The ICM (iterated conditional modes) algorithm of BESAG (1986) is derived for the Bayesian reconstruction of three-dimensional images of the positron emission tomography. As prior distribution a modified density function of HUBER (1964) for a robust parameter estimation is used. This gives a fast algorithm for the reconstruction which smoothes the image while preserving the edges. The results of the ICM algorithm are compared with the ones of the Gibbs sampler, a frequently applied Markov Chain Monte Carlo method. For an example with simulated data it turns out that the ICM algorithm gives a MAP (maximum a posteriori) estimate.

Zusammenfassung: *ICM Algorithmus für die Rekonstruktion tomographischer Bilder mit dem Bayes Verfahren.* Der ICM (iterated conditional modes) Algorithmus von BESAG (1986) wird für die Rekonstruktion dreidimensionaler Bilder der Positronen-Emissions-Tomographie nach dem Bayes-Verfahren abgeleitet. Als Priori-Verteilung wird eine modifizierte Dichte von HUBER (1964) für die robuste Parameterschätzung eingeführt. Man erhält für die Rekonstruktion einen schnellen Algorithmus, der das Bild glättet und die Kanten im Bild erhält. Die Ergebnisse des ICM Algorithmus werden mit denen des Gibbs-Verfahrens verglichen, einer häufig angewandten Methode der Monte-Carlo-Verfahren mit Markoff-Ketten. Für ein Beispiel mit simulierten Daten wird festgestellt, dass der ICM Algorithmus auf eine MAP (maximum a posteriori) Schätzung führt.

1 Introduction

Positron emission tomography is applied to study metabolic activities, like the distribution of a pharmaceutical in a part of a body. The pharmaceutical is combined with a radioactive isotope which produces a positron. The positron finds a nearby electron and annihilates with it to form a pair of photons. The two photons move in opposite directions along a straight line. They collide with a pair of detectors which are placed around the body on several rings forming a tube so that a coincidence line between the two detectors is determined. From the photon counts of pairs of detectors the three-dimensional image of the positions of the photon emitters is reconstructed, cf.

LEAHY & QI (2000). The image is represented by a three-dimensional array of voxels with varying intensities proportional to the number of photon emissions.

For a statistical analysis of the photon counts it is generally assumed that the photons are generated by a Poisson process. The maximum likelihood estimation is then solved by the EM (expectation maximization) algorithm independently proposed by SHEPP & VARDI (1982) AND LANGE & CARSON (1984). This algorithm has two disadvantages, it is slow to converge and the reconstruction has high variance so that it needs smoothing to eliminate the noise. The defects can be overcome by a Bayesian reconstruction. For a faster convergence a gamma distributed prior may be introduced, cf.

LANGE et al. (1987), WANG & GINDI (1997). For the smoothing one should keep in mind that the intensities of the voxels of the image represent a random field for which the Markov property can be assumed because the intensity of a voxel is mainly influenced by the ones of the voxels of the neighbourhood, cf. KOCH & SCHMIDT (1994, p. 299). The prior information can then be expressed by the Gibbs distribution which is defined such that large density values of the posterior distribution follow for smooth images and small ones for rough images so that a smooth image is obtained from the prior information, see GEMAN & MCCLURE (1987). However, the smoothing has to stop at the edges, where sudden changes of the intensities of the voxels occur.

Random fields of line elements have therefore been introduced to represent the edges in two-dimensional applications, cf. BUSCH & KOCH (1990), but it is difficult to define priors for line elements. A promising way of handling the edges has been obtained by modeling the Gibbs distribution by the density function of HUBER (1964) for the robust parameter estimation, cf. FESSLER et al. (2000), QI et al. (1998). Voxels beyond edges are considered outliers and are accordingly downweighted. A similar effect results from the use of the median root prior (ALENIUS & RUOTSALAINEN (1997)) which gives good spatial details as shown by BETTINARDI et al. (2002). For a better edge preserving property KOCH (2005) modified Huber's density function such that pixels beyond edges of two-dimensional images do not contribute to the smoothing. The method was tested for photographic images and showed an excellent edge preserving quality.

The same modification of the density function of HUBER (1964) for a robust parameter estimation is used here for the reconstruction of three-dimensional images of the positron emission tomography by deriving the ICM (iterated conditional modes) algorithm, first suggested for digital image analysis by BESAG (1986). The prior information of this algorithm is controlled by two parameters, a weight and a parameter for intensity differences. Depending on the

weight the algorithm converges faster or slower than the EM algorithm. It reduces the noise of the image by smoothing it while preserving the edges. The technique is applied for a numerical example from data of the small animal PET scanner ClearPETTM Neuro of the Forschungszentrum Jülich (ZIEMONS et al. 2005). The results are compared with the ones of the Gibbs sampler which is a special Markov Chain Monte Carlo method first suggested by GEMAN & GEMAN (1984) for the Bayesian restoration of digital images. It turns out that the ICM algorithm gives a MAP (maximum a posteriori) estimate, therefore not an approximate but an optimal solution.

In the following section the ICM algorithm is derived for the image reconstruction of emission tomography. Section 3 deals with the Gibbs sampler while Section 4 presents numerical examples. The paper finishes with conclusions.

2 Image Reconstruction

Let Ω be the set of voxels forming a three-dimensional array with

$$\Omega = \{j = (l, m, o), 0 \leq l \leq L, 0 \leq m \leq M, 0 \leq o \leq O\}, u = (L + 1)(M + 1)(O + 1) \quad (2.1)$$

and let β_j with $j \in \{1, \dots, u\}$ be the unknown intensity of voxel j which is proportional to the number of photon emissions of voxel j . The vector $\boldsymbol{\beta}$ with $\boldsymbol{\beta} = (\beta_j)$ is therefore the vector of unknown parameters of the reconstruction. Let y_i with $i \in \{1, \dots, n\}$ be the number of photon emissions or the number of coincidence lines measured by the pair i of detectors so that $y = (y_i)$ gives the vector of observations.

Let y_{ij} be the number of photons emitted by voxel j and counted at detector pair i . This number is nonobservable because of the superposition of the photon streams. The expected value \bar{y}_{ij} of y_{ij} is connected to the unknown intensity β_j of voxel j by

$$\bar{y}_{ij} = E(y_{ij}) = p_{ij}\beta_j \quad (2.2)$$

where p_{ij} gives the probability of detecting an emission from voxel j at detector pair i .

It is determined by the geometry of the scanner and is therefore known. By summing over the voxels j which are cut by the coincidence line i the observation y_i and its expectation \bar{y}_i follow from

$$y_i = \sum_j y_{ij} \quad \text{and} \quad \bar{y}_i = E(y_i) = \sum_j p_{ij} \beta_j \quad (2.3)$$

and the expectation $\bar{\mathbf{y}}$ of the vector \mathbf{y} of observations from

$$\bar{\mathbf{y}} = E(\mathbf{y}) = \mathbf{P}\boldsymbol{\beta} \quad (2.4)$$

where $\mathbf{P} = (p_{ij})$ denotes the so-called system matrix with elements p_{ij} . The system matrix \mathbf{P} does not only contain the probabilities p_{ij} but also a number of corrections, cf. LEAHY & QI (2000), which need not be considered here, since in the application we will use simulated data.

The random number y_{ij} results from counting photons so that it is assumed as Poisson distributed, cf. KOCH (1999, p. 87). Since the y_{ij} are independent, the measurement y_i with expectation \bar{y}_i is also Poisson distributed with density function

$$\begin{aligned} p(y_i | \boldsymbol{\beta}) &= \frac{\bar{y}_i^{y_i} \exp(-\bar{y}_i)}{y_i!} \\ &= \frac{(\sum_j p_{ij} \beta_j)^{y_i} \exp(-\sum_j p_{ij} \beta_j)}{y_i!}. \end{aligned} \quad (2.5)$$

The measurements y_i are independent, too, the joint density function for \mathbf{y} therefore follows from

$$p(\mathbf{y} | \boldsymbol{\beta}) = \prod_i \frac{(\sum_j p_{ij} \beta_j)^{y_i} \exp(-\sum_j p_{ij} \beta_j)}{y_i!}. \quad (2.6)$$

This is the likelihood function for the Bayesian reconstruction.

The intensity β_j of voxel j with $j \in \Omega$ represents a Markoff random field as already mentioned in the introduction. A special Gibbs distribution defined for cliques with two sites of the three-dimensional neighbourhood N_p of order p is therefore chosen as prior distribution (KOCH 2005)

$$p(\boldsymbol{\beta}) \propto \exp \left\{ -\frac{c_\beta}{2} \sum_{r \in \Omega} \sum_{s \in N_p} (\beta_j - \beta_{j+s})^2 \right\}. \quad (2.7)$$

This is a normal distribution where \propto means proportionality. The constant c_β acts as a weight and determines the contribution of the prior information. The index s defines the index of a voxel in half of the neighbourhood of voxel j , because one has to sum in (2.7) over all cliques with two sites in the set Ω . This is accomplished by summing over the cliques of half the neighbourhood N_p , cf. KOCH & SCHMIDT (1994, p. 277). For the application in Section 4 a three-dimensional neighbourhood of 32 voxels surrounding voxel j has been chosen. The larger the intensity difference in (2.7) between voxel j and voxel $j+s$ the smaller is the density value. The reconstruction of a rough image is therefore less likely than the reconstruction of a smooth one.

If voxel j and voxel $j+s$ are separated by an edge, a sudden change in the intensity, the voxel $j+s$ should not contribute to the smoothing of voxel j . The density function of HUBER (1964) for a robust parameter estimation is therefore modified such that we use in (2.7) for a given index s

$$\begin{aligned} p(\beta_j) &\propto \exp(\beta_j - \beta_{j+s})^2 / 2 \quad \text{for } |\beta_j - \beta_{j+s}| \leq c \\ p(\beta_j) &= 0 \quad \text{for } |\beta_j - \beta_{j+s}| > c \end{aligned} \quad (2.8)$$

where the constant c is set according to the jumps in the intensities of the edges which one wants to preserve. Substituting (2.8) in (2.7) means that we set in (2.7) (KOCH 2005)

$$\begin{aligned} c_\beta &\neq 0 \quad \text{for } |\beta_j - \beta_{j+s}| \leq c \\ c_\beta &= 0 \quad \text{for } |\beta_j - \beta_{j+s}| > c. \end{aligned} \quad (2.9)$$

Since the number of voxels $j+s$ changes which contribute to the smoothing, we form the mean of their contributions and obtain with q being the number of voxels $j+s$, for which $c_\beta \neq 0$ holds, instead of (2.7) together with (2.9)

$$p(\boldsymbol{\beta}) \propto \exp \left\{ -\frac{c_\beta}{2} \sum_{r \in \Omega} \sum_{s \in N_p} (\beta_j - \beta_{j+s})^2 q \right\}. \quad (2.10)$$

The prior (2.10) together with the likelihood function (2.6) gives with Bayes' the-

orem, cf. KOCH (2020, p. 32), the posterior density function for β

$$p(\beta|\mathbf{y}) \propto \exp\left\{-\frac{c_\beta}{2} \sum_{r \in \Omega} \sum_{s \in N_p} (\beta_j - \beta_{j+s})^2/q\right\} \prod_i \left(\sum_j p_{ij}\beta_j\right)^{y_i} \exp\left(-\sum_j p_{ij}\beta_j\right). \quad (2.11)$$

The conditional density function for β_j given the unknown intensities $\partial\beta_j$ in the neighbourhood N_p of voxel j follows from (2.11) with t being now the summation index, cf. KOCH & SCHMIDT (1994, p. 262),

$$p(\beta_j|\partial\beta_j, \mathbf{y}) = \frac{1}{C} \exp\left\{-\frac{c_\beta}{2} \sum_{\pm s \in N_p} (\beta_j - \beta_{j+s})^2/q\right\} \prod_i \left(\sum_t p_{it}\beta_t\right)^{y_i} \exp\left(-\sum_t p_{it}\beta_t\right). \quad (2.12)$$

where C denotes the normalization constant and where the sum has to be extended over the whole neighbourhood N_p of voxel j so that the index s becomes positive and negative.

If we derive the MAP estimate for β_j and apply it iteratively for $j \in \Omega$, the ICM algorithm of BESAG (1986) results. Taking the logarithm of (2.12)

$$\ln p(\beta_j|\partial\beta_j, \mathbf{y}) = -\frac{c_\beta}{2} \sum_{\pm s \in N_p} (\beta_j - \beta_{j+s})^2/q + \sum_i (y_i \ln \sum_t p_{it}\beta_t - \sum_t p_{it}\beta_t) - \ln C \quad (2.13)$$

and the derivative with respect to β_j

$$\frac{d \ln p(\beta_j|\partial\beta_j, \mathbf{y})}{d\beta_j} = -c_\beta \sum_{\pm s \in N_p} (\beta_j - \beta_{j+s})/q + \sum_i \left(\frac{p_{ij}y_i}{\sum_t p_{it}\beta_t} - p_{ij}\right) \quad (2.14)$$

and setting the result equal to zero gives the condition the MAP estimate for β_j has to fulfill given in a form explained below

$$1 = \frac{1}{\sum_i p_{ij} + c_\beta \sum_{\pm s \in N_p} (\beta_j - \beta_{j+s})/q} \sum_i \frac{p_{ij}y_i}{\sum_t p_{it}\beta_t}. \quad (2.15)$$

It leads to the ICM algorithm for the k th step of the iteration

$$\beta_j^{(k+1)} = \frac{\beta_j^{(k)}}{\sum_i p_{ij} + c_\beta \sum_{\pm s \in N_p} (\beta_j^{(k)} - \beta_{j+s}^{(k)})/q} \sum_i \frac{p_{ij}y_i}{\sum_t p_{it}\beta_t^{(k)}}. \quad (2.16)$$

The prior information of this algorithm is weighted by c_β with respect to the contribution of the observations y_i . If c_β is too large, the iterations will not converge anymore because the intensities will continuously increase unconstrained by the observations. If c_β is very small or equal to zero, the EM (expectation maximization) algorithm of SHEPP & VARDI (1982) and LANGE & CARSON (1984) is obtained, see also VARDI et al. (1985). The second parameter which controls the prior information in the ICM algorithm is according to (2.9) the constant c which determines the intensity difference of the edges one wants to preserve.

GREEN (1990) proposed the OSL (one step late) approximation in order to solve the Bayesian reconstruction also by the EM algorithm. The name was chosen because the derivative of the prior density function with respect to the unknown intensity of voxel j is evaluated at the current estimate of the unknown parameter during the iterations. For the prior density function (2.7) used here the OSL algorithm gives

$$\beta_j^{(k+1)} = \frac{\beta_j^{(k)}}{\sum_i p_{ij} + c_\beta \sum_{s \in N_p} (\beta_j^{(k)} - \beta_{j+s}^{(k)})/q} \sum_i \frac{p_{ij}y_i}{\sum_t p_{it}\beta_t^{(k)}}. \quad (2.17)$$

By comparing it with the ICM algorithm (2.16) one recognizes that the ICM algorithm is presented in the shape of the OSL algorithm. This was the reason that for the condition of the MAP estimate the form (2.15) had been chosen.

The ICM algorithm (2.16) differs from the OSL algorithm (2.17) only by the fact that for computing the prior information the sum in (2.16) is extended over the whole neighbourhood of voxel j , while in (2.17) the

rows and 81 columns. The image shows a cylinder with holes open at the top parallel to the axis. The mantle of the cylinder extends a bit beyond the bottom to which two small cylinders are attached. The image has been reconstructed by the EM algorithm from about 8 000 000 coincidence lines. The image shows excellent contrasts for the cylinder and its holes except for the bottom of the cylinder where low intensities with low contrasts prevail so that smoothing can be applied. In this area a three-dimensional array of voxels with 9 slices, 45 rows and 33 columns has been selected for the example. To avoid boundary effects for the smoothing only the intensities of an array of voxels with 5 slices, 41 rows and 29 columns within the larger array are reconstructed. Thus, the vector β contains 5945 unknown intensity values. Fig. 1 shows the intensities expressed by grey values of the test image for the slice in the middle of the array of voxels for the example. The circular ring of light grey values indicates the mantle of the cylinder and the light grey values to the right close at the mantle show one of the small cylinders attached to the bottom. The area of light grey values to the left does not have a special meaning.

Instead of searching the 8 000 000 measured coincidence lines for the ones going through the array of voxels for the example the observations were generated. It was assumed that the emissions of the photons of the example result in 8000 coincidence lines symmetrically distributed over the array of voxels. The element p_{ij} of the system matrix P in (2.4) was computed by the ratio of the length of the coincidence line i within the voxel j to the length of the coincidence line within the array of voxels. The method of SIDDON (1985) was applied. The voxel volume was set to 1 mm^3 and the radius of the scanner was reduced to 34 mm according to the ratio of the size of the image of the example to the size of the test image. The system matrix P thus obtained multiplied by the intensities of the voxels of the test image restricted to the example gives the generated data.

To reconstruct the intensities of the voxels from the simulated data, the intensities of

the test image after introducing normally distributed noise with a standard deviation of 0.00005 are used as starting values for the iterations. The intensities of the voxels lie within the interval of [0.00004, 0.00825]. The EM algorithm without the term c_β in (2.16) was first applied to reconstruct the image. The result is given in Fig. 2 where the intensities are expressed by grey values and the same slice as in Fig. 1 is shown. The number of iterations was determined such that 1000 additional iterations do not change the image which was checked by a visual inspection. The number of iterations thus obtained was 2000 for the EM algorithm. By comparing the results with Fig. 1, where as mentioned above the intensities of the test image are shown, one recognizes especially from the dark voxels that the EM algorithm introduces variances.

The reconstructed intensities of Fig. 2 vary within the interval [0.0001, 0.0043] with only a few voxels in the lower left corner of Fig. 2 surpassing the intensity 0.0015. To obtain sufficient contrast for the image, the intensities of these voxels are reduced to 0.0015. The intensities are then transformed to grey values and shown in Fig. 2. This procedure has been applied to all Figures 1 to 6. The consequence is that the images appear rougher than the images where the whole range of intensities are depicted. On the other hand it is clearly visible how the reconstruction algorithm builds the image.

By applying the ICM algorithm (2.16) it turns out that the iterations do not converge anymore for $c_\beta \geq 200$. The prior information is not constrained for these weights by the observations so that the intensities continuously grow. The reconstruction by (2.16) with a low weight of $c_\beta = 20$ and an intensity difference of $c = 0.00017$ for the edges to be preserved is shown in Fig. 3 again for the same slice as in Fig. 1 and Fig. 2. The comparison with Fig. 2 reveals that the image is smoother and the edges forming the mantle of the cylinder are well kept. Prior information in addition to the observations need to be processed so that 2500 iterations are necessary. Inspecting the results of 1000 more iterations reveals that

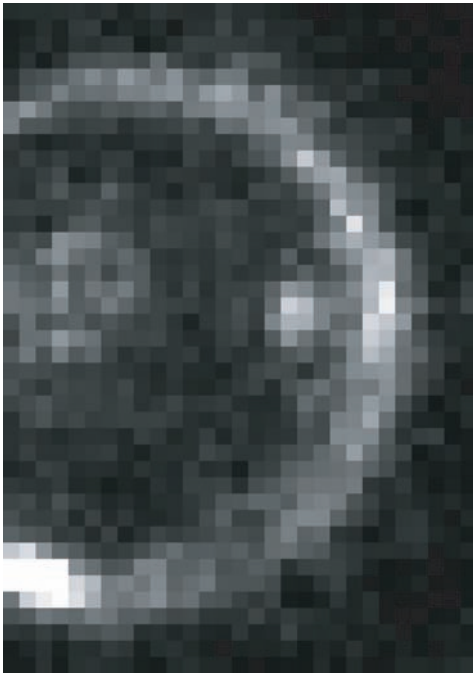


Fig. 1: Test Image of the Slice in the Middle of the Array of Voxels for the Example.

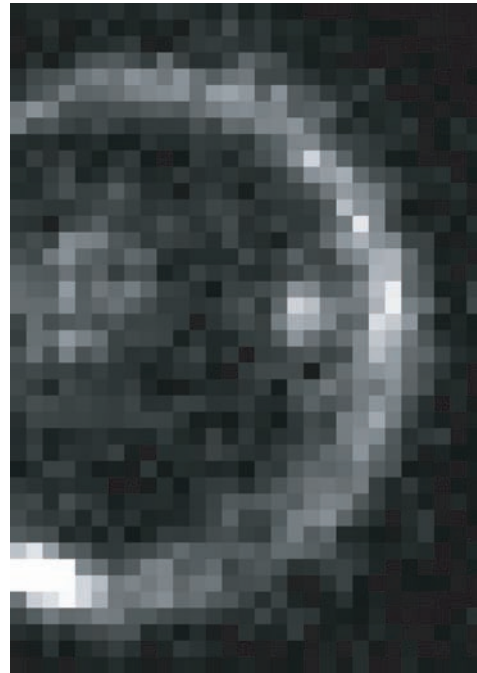


Fig. 2: Image Reconstructed by the EM Algorithm.

they do not change the image. Only 1500 iterations are needed if the weight is increased to $c_\beta = 100$ with the identical value $c = 0.00017$, see Fig. 4. This results in a stronger smoothing. One has to keep in mind that the ICM algorithm (2.16) applies a three-dimensional smoothing with a neighbourhood of 32 voxels as explained in Section 2. This is the reason that patterns appear in Fig. 3 and Fig. 4, which would not show up in a two-dimensional smoothing, like the break in the ring of voxels with light grey values near the upper left corner of Fig. 4.

Decreasing the parameter for the intensity difference to $c = 0.00008$ together with the low weight $c_\beta = 20$ gives after 2500 iterations, as shown in Fig. 5, a moderate smoothing if one compares it with Fig. 3. Fig. 5 is less rough than Fig. 2 and it is almost identical with the original test image of Fig. 1. This is an important result because the original image can with good approxi-

mation be recovered by the ICM algorithm (2.16) which the EM algorithm cannot. Increasing the weight to $c_\beta = 100$ with $c = 0.00008$ gives after 1500 iterations stronger smoothing, see Fig. 6, but less pronounced than in Fig. 4.

The solution shown in Fig. 3 of the ICM algorithm (2.16) with $c_\beta = 20$ and $c = 0.00017$ is investigated by the Gibbs sampler (3.2). As starting values for the Gibbs sampler the intensities of the solution of the ICM algorithm are taken. Since it is expected that these intensities are already distributed according to (2.11), no burn-in phase is assumed. The Gibbs sampler is applied twice, the first time with the lengths of the intervals I_j equal to 0.000 001 and the second time equal to 0.000 002. In both cases $d = 21$ discrete values equally spaced in the intervals I_j are taken and 1500 iterations are computed. For sampling from (3.5) the normalization constant C has to be known. Because of the discretization it cannot be ac-

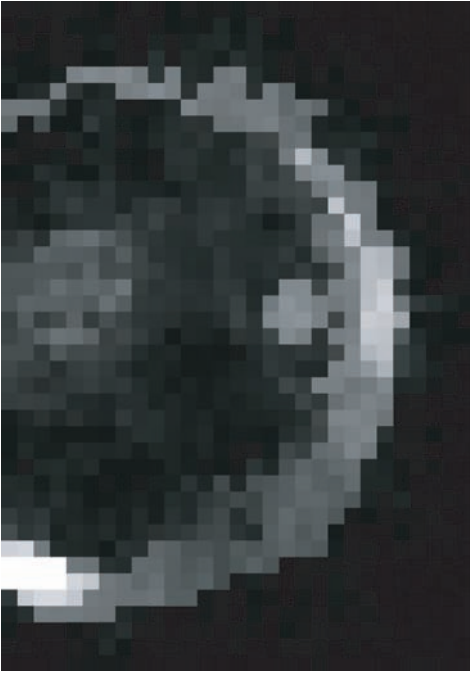


Fig. 3: Image Smoothed with $c_\beta = 20$ and $c = 0.00017$.

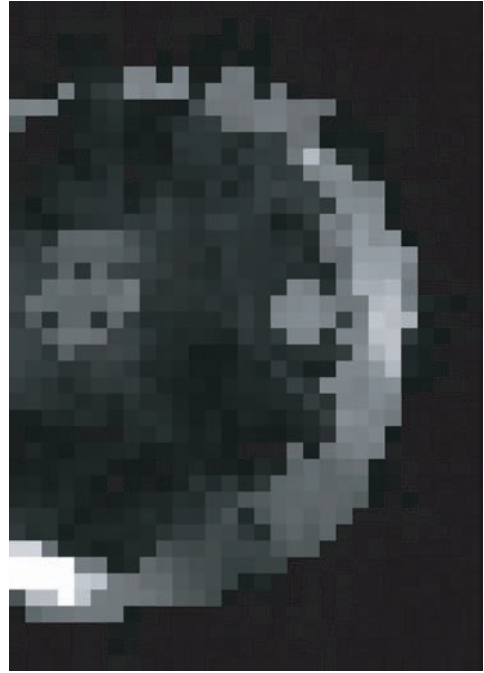


Fig. 4: Image Smoothed with $c_\beta = 100$ and $c = 0.00017$.

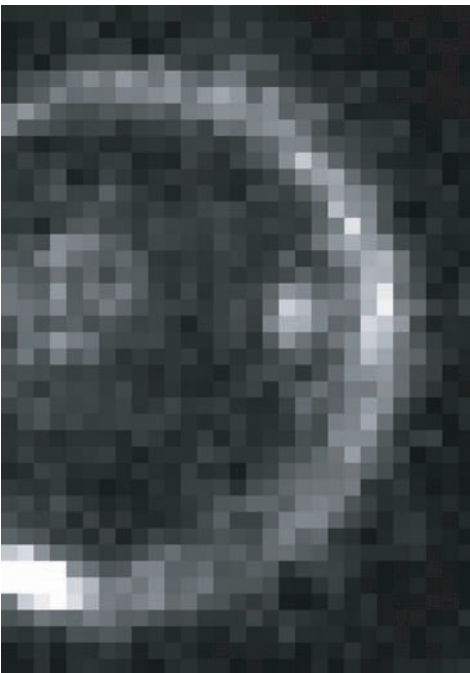


Fig. 5: Image Smoothed with $c_\beta = 20$ and $c = 0.00008$.

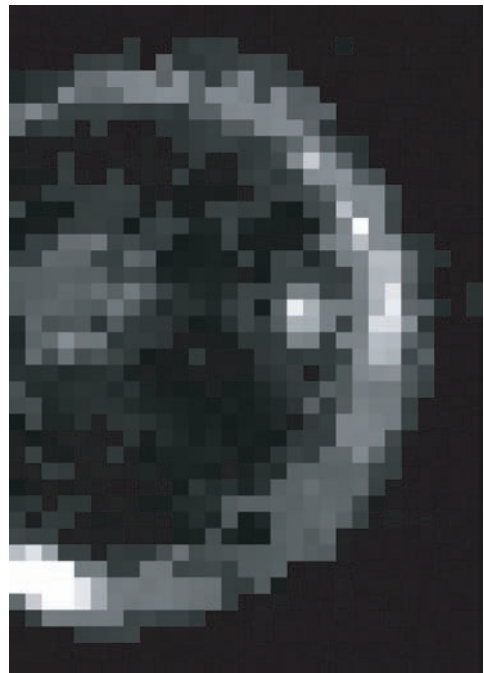


Fig. 6: Image Smoothed with $c_\beta = 100$ and $c = 0.00008$.

curately determined. When applying the ICM algorithm (2.16) with $c_\beta = 20$ the fifth significant digit in the sum of the denominator is affected. Thus, instead of subtracting $\ln C$ in (3.5) the first term of the right hand side of (3.5) is multiplied by a factor which is chosen such that the 5th significant digit of the sum is affected. This is, of course, only an approximation with the consequence that the weight c_β in (3.5) is slightly changed as compared to (2.16). But it alters the solution only a little.

In the first application of the Gibbs sampler the maximum of $p(\beta^{(n)}|y)$ in (3.4) is found after 14 iterations, in the second case after 15 iterations. For the first case the maximum difference between an intensity value from the ICM algorithm and the MAP estimate of the Gibbs sampler is equal to 0.000 0043 and the square root of the mean squared differences equals 0.000 0011. For the second case the corresponding values are 0.000 0099 and 0.000 0023. Thus, the results of the ICM algorithm and the MAP estimate of the Gibbs sampler practically agree. The ICM algorithm therefore does not give an approximate solution but a MAP estimate.

To confirm this result, the Bayes estimate (3.3) is also computed by the Gibbs sampler. For the first application the maximum difference between an intensity value obtained by the ICM algorithm and the Gibbs sampler is equal to 0.000 024 and the square root of the mean squared differences equals 0.000 007. For the second application the corresponding values are 0.000 052 and 0.000 014. Theoretically the maximum difference could be half of the lengths of the intervals I_j times the number of iterations which gives 0.00075 for the first case and 0.00150 for the second one. By comparing these values with the maximum differences given above one recognizes that the Bayes estimate stays close to the MAP estimate which confirms the MAP estimate.

5 Conclusions

Numerically it is shown that the ICM algorithm derived here for the Bayesian reconstruction of tomographic images does not

give an approximate solution but an optimal solution in form of a MAP estimate. Due to the modified density of HUBER (1964) for the robust parameter estimation the ICM algorithm smoothes the image while preserving the edges. The smoothing is controlled by two parameters which allows flexibility as demonstrated by the examples. For instance, using simulated observations the original image can be recovered with an excellent approximation which the EM algorithm cannot.

Acknowledgement

The author is indebted to B. GUNDLICH and S. WEBER, Central Institute for Electronics, Forschungszentrum Jülich, for their advice and for providing the test data of the scanner Clear PETTM Neuro.

References

- ALENIUS, S. & RUOTSALAINEN, U., 1997: Bayesian image reconstruction for emission tomography based on median root prior. – *Eur. J. Nucl. Med.*, **24**: 258–265.
- BESAG, J.E., 1986: On the statistical analysis of dirty pictures. – *J. Royal Statist. Society, B* **48**: 259–302.
- BETTINARDI, V., PAGANI, E., GILARDI, M.C., ALENIUS, S., THIELEMANS, K., TERAS, M. & FAZIO, F., 2002: Implementation and evaluation of a 3D one-step late reconstruction algorithm for 3D positron emission tomography brain studies using median root prior. – *Eur. J. Nucl. Med.*, **29**: 7–18.
- BUSCH, A. & KOCH, K.R., 1990: Reconstruction of digital images using Bayesian estimates. – *Z. Photogrammetrie und Fernerkundung*, **58**: 173–181.
- FESSLER, J.A., ERDOGAN, H. & WU, W.B., 2000: Exact distribution of edge-preserving MAP estimators for linear signal models with Gaussian measurement noise. – *IEEE Trans Im Proc*, **9**(6): 1049–1056.
- GELMAN, A., CARLIN, J.B., STERN, H.S. & RUBIN, D.B., 2004: *Bayesian Data Analysis*. – 2nd ed., Chapman and Hall, Boca Raton.
- GEMAN, S. & GEMAN, D., 1984: Stochastic relaxation, Gibbs distributions, and the Bayesian restoration of images. – *IEEE Trans. Pattern. Anal. Machine Intell.*, *PAMI*, **6**: 721–741.

- GEMAN, S. & MCCLURE, D.E., 1987: Statistical methods for tomographic image reconstruction. – *Bull. Int. Statist. Inst.*, 52–21.1: 5–21.
- GREEN, P.J., 1990: Bayesian reconstruction from emission tomography data using a modified EM algorithm. – *IEEE Trans. Med. Imaging*, **9**: 84–93.
- HUBER, P.J., 1964: Robust estimation of a location parameter. – *Annals Mathematical Statistics*, **35**: 73–101.
- KOCH, K.R., 1999: *Parameter Estimation and Hypothesis Testing in Linear Models*. – 2nd ed., Springer, Berlin.
- KOCH, K.R., 2000: *Einführung in die Bayes-Statistik*. – Springer, Berlin.
- KOCH, K.R., 2005: Bayesian image restoration by Markov Chain Monte Carlo methods. – *ZfV (Z. Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement)*, **130**: 318–324.
- KOCH, K.R. & SCHMIDT, M., 1994: *Deterministische und stochastische Signale*. – Dümmler, Bonn.
- LANGE, K. & CARSON, R., 1984: EM reconstruction algorithms for emission and transmission tomography. – *J. Comput. Assist. Tomogr.*, **8**: 306–316.
- LANGE, K., BAHN, M. & LITTLE, R., 1987: A theoretical study of some maximum likelihood algorithms for emission and transmission tomography. – *IEEE Trans. Med. Imaging*, **MI-6**: 106–114.
- LEAHY, R.M. & QI, J., 2000: Statistical approaches in quantitative positron emission tomography. – *Statistics and Computing*, **10**: 147–165.
- QI, J., LEAHY, R.M., CHERRY, S.R., CHATZIOANNOU, A. & FARQUHAR, T.H., 1998: High-resolution 3D Bayesian image reconstruction using the microPET small-animal scanner. – *Phys. Med. Biol.*, **43**: 1001–1013.
- SHEPP, L.A. & VARDI, Y., 1982: Maximum likelihood reconstruction for emission tomography. – *IEEE Trans. Med. Imaging*, **MI-1**: 113–122.
- SIDDON, R.L., 1985: Fast calculation of the exact radiological path for a three-dimensional CT array. – *Medical Physics*, **12**: 252–255.
- VARDI, Y., SHEPP, L.A. & KAUFMAN, L., 1985: A statistical model for positron emission tomography. – *J. American Statist. Ass.*, **80**: 8–37.
- WANG, W. & GINDI, G., 1997: Noise analysis of MAP-EM algorithms for emission tomography. – *Phys. Med. Biol.*, **42**: 2215–2232.
- ZIEMONS, K., AUFRAY, E., BARBIER, R., BRANDENBURG, G., BRUYNDONCKX, P., CHOI, Y., CHRIST, D., COSTES, N., DECLAIS, Y., DEVROEDE, O., DUJARDIN, C., FEDEROVD, A., HEINRICH, U., KORJIK, M., KRIEGUER, M., KUNTNER, C., LARGERON, G., LARTIZIEN, C., LARUE, H., LECOQ, P., LEONARD, S., MARTEAU, J., MOREL, CH., MOSSET, J.B., PARL, CH., PEDRINI, CH., PETROSYAN, A.G., PIETRZYK, U., REY, M., SALADINO, S., SAPPEY-MARINIER, D., SIMON, L., STREUN, M., TAVERNIER, S. & VIEIRA, J.M. (2005): The ClearPETTM project: development of a 2nd generation high performance small animal PET scanner. – *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research*, **A 537**: 307–311.

Author's address:

Prof. em. Dr.-Ing. Dr.-Ing. h.c. mult.
 KARL-RUDOLF KOCH
 Institute of Theoretical Geodesy
 University of Bonn
 Nussallee 17, D-53115 Bonn
 e-mail: koch@theor.geod.uni-bonn.de

Manuskript eingereicht: Dezember 2005
 Angenommen: Januar 2006

Berichte

5. Oldenburger 3D – Tage: Optische 3D – Messtechnik – Photogrammetrie – Laserscanning

am 1. und 2. Februar 2006

Die Oldenburger 3D-Tage feierten in diesem Jahr ein kleines Jubiläum, denn die Veranstaltung jährte sich Anfang Februar bereits zum fünften Mal. Sie wird vom Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik (IAPG) der Fachhochschule Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelmshaven unter Leitung von Prof. Dr. THOMAS LUHMANN organisiert und in Kooperation mit dem Institut für Mess- und Auswertetechnik derselben Fachhochschule und der DGPF durchgeführt. Dass sich die 3D-Tage zu einer der wichtigsten Fachtagungen auf dem Gebiet der optischen 3D-Messtechnik im deutschsprachigen Raum entwickelt haben, zeigt die ständig wachsende Teilnehmerzahl. Seit der ersten Veranstaltung 2002 hat sich diese fast verdoppelt. In diesem Jahr reisten insgesamt 234 Teilnehmer aus allen Bundesländern Deutschlands sowie aus Ungarn, der Slowakei, der Schweiz, Österreich und den Niederlanden nach Oldenburg.

Die Oldenburger 3D-Tage sind nicht nur eine wissenschaftliche Fachtagung sondern stellen gleichzeitig eine Plattform zum Diskutieren über Produkte und Technologien aus den Bereichen der optischen 3D-Messtechnik, der Photogrammetrie und dem ter-

restrischen Laserscanning dar. Dies beweist auch der hohe Anteil von Anwendern, Dienstleistern und Herstellern, der mehr als die Hälfte aller Besucher der Veranstaltung ausmacht.

Nach der Eröffnung der Tagung durch Prof. THOMAS LUHMANN gewährte Frau Prof. ANNE FIEDRICH, Präsidentin der Fachhochschule Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelmshaven, einen kurzen Einblick in die derzeitigen Schwierigkeiten der Hochschul- und Finanzpolitik und lobte in diesem Zusammenhang die Organisatoren der Oldenburger 3D-Tage für ihre Veranstaltung und insbesondere für ihr Bestreben, Wirtschaft und Wissenschaft näher zusammenzubringen. Nach den Grußworten von Dr. REINHARD HESSE vom VDI Bremen hielt Prof. HARALD SCHLEMMER den Eröffnungsvortrag zum Thema „*Geodäsie und Geoinformation – n-dimensional?*“ und beeindruckte die Zuschauer durch sehr anschauliche Beispiele.

Insgesamt gab es in diesem Jahr fast 50 Fachvorträge in 12 Sitzungen, wobei jeweils zwei zeitgleich stattfanden. Eines der Kernthemen war auch in diesem Jahr das terrestrische Laserscanning. In der Sitzung „Laserscanning – Modellierung“ wurden Vorschläge zur Verarbeitung von Punktwolken präsentiert. Hier sind u. a. die robuste direkte Bestimmung von Zylindern (C. BEDER) und die Glättung von aus Punktwolken extrahierten Profilen (A. BIENERT) zu nennen. In drei Sitzungen wurden Anwendungsgebiete des terrestrischen Laserscannings, wie z. B. Anlagenbau, Schiffsbau, Architektur, Virtuelle Realität, 3D-Stadtmodelle, vorgestellt und diskutiert. Über die typischen Anwendungen hinaus wurde außerdem der Einsatz terrestrischer Laserscanner zur Untersuchung von Jagdlebensräumen von Fledermäusen dargestellt (T. ASCHOFF). Dies zeigt, dass Laserscanner heute zu einem universell einsetzbaren Werkzeug in verschiedenen Bereichen geworden sind. Dabei sind natürlich auch Fragen der Genauigkeit dieser Messgeräte nicht zu vernachlässigen.

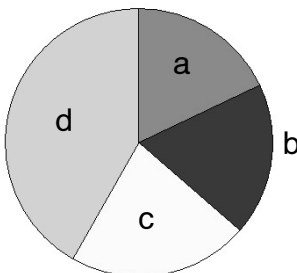


Abb. 1: Teilnehmer-Statistik:

a) 42 (18%) Anwender, b) 43 (18%) Dienstleister, c) 51 (22%) Hersteller, d) 98 (42%) Hochschule.

Deshalb widmete sich eine Sitzung ausschließlich dieser Problematik. Hier wurden die Genauigkeitsuntersuchung mittels Referenzkörper vorgestellt (M. ZÁMEČNIKOVÁ), verschiedene Laserscanner verglichen (E. STIEMER) und die Bestimmung konstruktionsbedingter Fehler erläutert (F. NEITZEL).

Zwei Sitzungen befassten sich mit photogrammetrischen Verfahren und deren Anwendungen. Als Beispiele sollen an dieser Stelle die Vorträge zur dynamischen Photogrammetrie bei Fußgängerschutzversuchen in der PKW-Entwicklung (K. RAGUSE), zur photogrammetrischen Deformations- und Rissanalyse bei textilbewehrten Bentonbauteilen (J. LANGE) und zur photogrammetrischen Blechteilinspektion (C.-T. SCHNEIDER) genannt werden. Zu erwähnen ist außerdem die Präsentation über den Stand der Technik der Phototachymetrie (M. SCHERER), da die Kombination aus Photogrammetrie und konventioneller Tachymetrie sehr vielversprechend ist.

In einer weiteren Sitzung wurde das Thema Kalibrierung, insbesondere die Elimination der chromatischen Aberration in Farbbildern (E. SCHWALBE) sowie die hoch auflösende Sichtstrahlkalibrierung als alternatives Kalibrierverfahren für optisch abbildende Systeme (M. SCHULTE), näher beleuchtet. Die Sitzungen zu Algorithmen sowie zu optischen 3D-Messverfahren, bei der u. a. ein flexibles Streifenreflexionssystem zur Prüfung glänzender Oberflächen (R. KLATTENHOFF) und die Topographieerfassung mittels Weißlichtinterferometrie (J. NIEHUES) vorgestellt wurden, rundeten das wissenschaftliche Vortragsprogramm ab.

Neben den wissenschaftlichen Vorträgen boten die Oldenburger 3D-Tage im Rahmen einer begleitenden Firmenausstellung und des Herstellerforums ausreichend Gelegenheit, Firmen und deren Produkte bzw. Dienstleistungen kennen zu lernen und darüber zu diskutieren. Insgesamt waren 28 Firmen an der Ausstellung beteiligt und 9 Firmen haben ihre Produkte im Herstellerforum präsentiert.

Positiv zu bewerten sind auch in diesem Jahr wieder die exzellente Vorbereitung, Organisation und Durchführung der Veran-

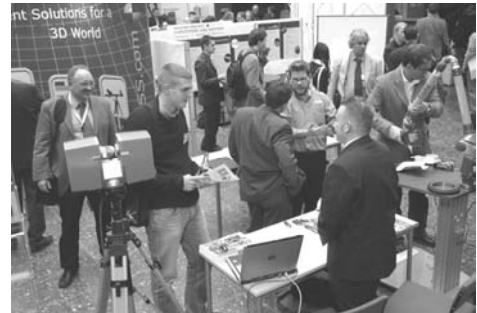


Abb. 2: Begleitende Firmenausstellung.

staltung. Stellvertretend für das gesamte Team des IAPG ist hier besonders Frau CHRISTINA MÜLLER und Frau BARBARA WILLE zu danken. Nicht zu vergessen sind dabei die Pausenversorgung mit belegten Brötchen, Kaffee und Erfrischungsgetränken genauso wie die Ton- und Videoübertragung in einen Aufenthaltsraum, die von den Teilnehmern der 3D-Tage geschätzt wurden.

Ein besonderes Ereignis war auch in diesem Jahr wieder die Abendveranstaltung mit dem nun schon zur Tradition der Tagung gehörenden Grünkohlessen. Die Improvisationstheatergruppe „Bumerang“ umrahmte die Abendveranstaltung, indem sie das Publikum in ihre Theaterstücke einbezog.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass die Oldenburger 3D-Tage auch im fünften Jahr ihres Bestehens wieder eine rundherum gelungene Veranstaltung darstellten. Es ist den Veranstaltern zu wünschen, dass die Tagung auch weiterhin ihre Bedeutung auf dem Gebiet der optischen 3D-Messtechnik behält und vielleicht sogar weiter ausbauen kann, da sie wie kaum eine andere Veranstaltung Wissenschaftler, Anwender, Dienstleister und Hersteller zusammenführt. Man kann gespannt auf die 6. Oldenburger 3D-Tage im nächsten Jahr sein. Weitere Informationen zur Veranstaltung sind unter der Internetadresse <http://www.fh-oow.de/3dtag/> zu finden.

Alle zu den 5. Oldenburger 3D-Tagen vorgestellten Beiträge werden wieder in einem Tagungsband zusammengefasst, der voraussichtlich im April 2006 im Wichmann-Verlag erscheint.

DANILO SCHNEIDER, Dresden



Institute of Electrical and Electronics Engineers

Mit rund 365 000 Mitgliedern in 150 Ländern, unterteilt in 39 Gesellschaften und 5 Technische Räte (Technical councils) ist IEEE die führende Organisation auf den Gebieten Raumfahrt, Computer, Telekommunikation, biomedizinische Ingenieurtechnik, elektrische Energie und elektronische Geräte. IEEE bemüht sich um die Standardisierung internationaler Anwendungen und ist ein Normungsgremium für elektrische und elektronische Verfahren (es gibt 900 IEEE Standards, über 400 weitere sind in Entwicklung). IEEE gibt 128 Journale, Magazine und andere Publikationen heraus.

Die IEEE ist eine nichtstaatliche Organisation (NGO).

Quelle: <http://www.ieee.org>

Eine der 39 wissenschaftlichen Gesellschaften der IEEE ist die

Geoscience and Remote Sensing Society (GRSS), USA.

Präsident: Dr. Leung Tsang

Die GRSS veranstaltet jährlich das

IGARSS

– das Internationale Symposium für Geowissenschaften und Fernerkundung (International Geoscience and Remote Sensing Symposium), die größte und bedeutendste Veranstaltung auf diesem Fachgebiet. Jedes Jahr nehmen mehr als 1000 Wissenschaftler, Ingenieure und andere Interessierte an dieser Veranstaltung teil, auf der vorrangig Forschung, Technologie, Geräte/Ausrüstungen und Programme von weltweiter Bedeutung dargeboten und diskutiert werden. Die nächsten IGARSS-Veranstaltungen:

IGARSS 2006 „*Remote Sensing: A Natural Global Partnership*“ vom 31. Juli bis 4. August 2006 in Denver, Colorado, USA
<http://www.igarss06.com>,

IGARSS 2007 vom 23. bis 27. Juli 2007 in Barcelona, Spanien,

IGARSS 2008 vom 7. bis 11. Juli 2008 in Boston, Massachusetts, USA,

IGARSS 2009 vom 7. bis 11. Juli in Capetown, Südafrika.

Weitere GRSS-Fachtagungen 2006:

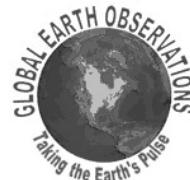
GEOSS Workshop „*GEOSS-Architektur IV*“ am 8./9. Juli in Korsika, Frankreich,

2nd Internationales Symposium „*Geo-Informationen für Unfallmanagement*“ am 25./26. September in Goa, Indien,

6. Afrikanische Konferenz für Fernerkundung und Klima (AARSE) vom 30. Oktober bis 2. November in Kairo, Ägypten (siehe auch Seite 252)

Quellen: <http://www.ieee.org>

<http://www.grss-ieee.org>



GEOSS – Global Earth Observation System of Systems

GEOSS – ein globales System zur Erdbeobachtung soll zu einer bedeutenden Intensivierung der Informationsgewinnung über unseren Planeten und zu gesellschaftlichem Fortschritt und nachhaltiger Entwicklung führen.

Im Jahre 2004 haben 60 Nationen beschlossen, ein weltweites Netzwerk GEOSS zur Erdüberwachung zu schaffen. Deutschland und die Europäische Union gehören dazu und auch 43 Organisationen (z. B. ESA, FAO, IAG, IEEE, ISPRS, UNEP, UNESCO).

Der Arbeitsplan für 2006 liegt vor. Darin sind die Aufgaben-Schwerpunkte (spezifische Projekte) festgelegt:

GEOSS soll dazu beitragen, die Entwicklung auf der Erde zu beschleunigen. Es wurde geschaffen zur Integration aller Aufnahmen, Messdaten und Informationen von der Erde, um ein einheitliches Bild global zur Verfügung stellen zu können.

Dafür wurde im Dezember 2005 ein Zehnjahresplan aufgestellt und ein Arbeitsplan für 2006 verabschiedet (37 Seiten; <http://www.grss-ieee.org/menu.taf?menu=GEOSS>).

GEOSS soll dazu beitragen, Hungersnöte zu reduzieren, Epidemien zu verhindern, Leben zu retten, es soll für das Katastrophen-Management eingesetzt werden.

Wozu GEOSS?

- Erfassung und Beseitigung von Katastrophenschäden, ausgelöst von der Natur oder vom Menschen,
- Erfassung und Nutzung von Wasser-Ressourcen,
- Erfassung des Ökosystems,
- Überwachung der Gesundheit und des Wohlergehen des Menschen,
- Erfassung der Energie-Ressourcen,
- Erhaltung der Landwirtschaft und Verhinderung von Desertifikation,
- Beschaffung von Wetter-Informationen, Wetter-Vorhersage und Unwetter-Warnung,
- Erforschung von Klima-Veränderungen und Klima-Wechsel,
- Erfassung und Überwachung der Ozeane.

Die Leitung des GEOSS wurde Dr. JAY PEARLMAN, ehemals verantwortlich für das Forschungszentrums der Boeing Co. Seattle, übertragen.

Im IEEE wurde ein *ICEO-Committee on Earth Observation* gebildet als Kristallisationspunkt (Februar 2004). ICEO steht in Kooperation mit GEO (Group on Earth Observations). Mehrere Gesellschaften der IEEE sind daran beteiligt:

- Aerospace, Remote Sensing & Astronomy
- Electronic Imaging & Displays
- Communications & Fiber Optics
- Computer
- Geosciences & Remote Sensing
- Ocean Engineering
- Social Implications of Technology

Ein erstes Programm für die Entwicklung von GEOSS wurde im Dezember 2005 verabschiedet.

Gemäß Zehnjahresplan hat GEOSS folgenden Auftrag:

„... für alle Entscheidungen und Maßnahmen zum Wohle der Menschen sollen zuverlässige, genaue und umfassende Daten von der Erde zur Verfügung stehen...“

... mit Hilfe von GEOSS soll erreicht werden, die Aufnahme der Erdoberfläche zu intensivieren, damit Prozesse auf der Erde besser erfasst und verstanden werden und die Vorhersage von Erscheinungen auf der Erde qualifiziert wird.“

Ziel ist ein breiter wissenschaftlicher und politischer Konsens darüber, dass eine kontinuierliche und abgestimmte Aufnahme (Observation) der Erdoberfläche in allen erforderlichen Maßstäben notwendig ist. Die Anerkennung des Grundsatzes, dass die Erde als ein integriertes System zu betrachten sei, ist eine wichtige Herausforderung und ein signifikanter Durchbruch im Denken, eine bewusste Abkehr von der früheren eingeschränkten isolierten Betrachtung von individuellen Komponenten des Systems Erde. Diese neue Herangehensweise wird von den führenden Politikern unterstützt.

Der Zehnjahresplan für GEOS erfordert eine Untersetzung für jedes einzelne Jahr in der Form von „*Annual GEO work plans*“.

Aufgaben-Schwerpunkte für das Jahr 2006:

1. Katastrophenmanagement
2. Gesundheitswesen
3. Energie
4. Klima
5. Wasser
6. Wetter
7. Öko-System
8. Landwirtschaft
9. Biodiversität

Querverbindungen:

1. GEO-Netzwerk
2. Anwender-Aktivitäten
3. Architektur des Systems
4. Datenmanagement

Ein 2. Workshop zur GEOSS-Architektur fand am 29./30. 10. 2005 in Pretoria statt.

Quelle: <http://www.grss-ieee.org/menu.taf?menu=GEOSS>



International Center for Remote Sensing of Environment

Sitz: Tucson, Arizona

President: CHARLES HUTCHINSON (seit 2000).

Eine wichtige Aufgabe des ICRSE besteht darin, die Anwendung der Fernerkundungstechnologien auf den Umweltschutz zu fördern. Dafür werden im Abstand von zwei Jahren rund um die Erde

ISRSE (International Symposium on Remote Sensing of Environment)

organisiert und durchgeführt.

Im Juli 2000, während des ISPRS-Kongresses in Amsterdam, haben ICRSE und ISPRS eine Vereinbarung unterzeichnet zur Bildung eines Exekutivkomitees

ICORSE (International Committee on Remote Sensing of Environment).

ICORSE ist ein permanentes Beratungsgremium des Council der ISPRS mit ALEXANDER TUYAHOV als gegenwärtigen Vorsitzenden.

Dem ICORSE gehören gegenwärtig an:

- South African Council of Space Affairs (SACSA),
- European Space Agency (ESA/ESRIN),
- U.S. Geological Survey (USGS),
- United Nations Environment Programme (UNEP),
- Comisión Nacional de Actividades Espaciales (CONAE),
- International Center for Remote Sensing of Environment (ICRSE),
- European Commission-Joint Research Centre (Ispra-Italy),
- Norwegian Space Centre (ICORSE, Co-Chair: PER ERIK SKROVSETH),
- National Aeronautics and Space Administration Headquarters (NASA/HQ), (ICORSE, Chair: ALEXANDER TUYAHOV),
- European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites (EUMETSAT, Darmstadt),
- National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA),

- Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR, Köln),
- Centre National d'Etudes Spatiales (CNES),
- Natural Resources Canada, Canada Centre for Remote Sensing.

Die ISRSE-Symposien sind hervorgegangen aus dem Environmental Research Institute of Michigan (ERIM) in Ann Arbor, USA. Das erste Symposium in dieser Reihe fand 1962 in Ann Arbor statt. Das bisher letzte war das *31. Internationale Symposium zur Fernerkundung der Umwelt in Sankt Petersburg, Russland* vom 20. bis 24. Juni 2005.

Quellen: <http://www.icrse.org/>
isrse@email.arizona.edu
<http://www.symposia.org/>
isrse@symposia.org

Internationale Akademie der Astronautik · IAA



Die IAA wurde am 16. August 1960 in Stockholm, Schweden gegründet. Sie ist eine nichtstaatliche Organisation (NGO), die 1996 von den Vereinten Nationen (UN) anerkannt wurde.

Geleitet wird die IAA von einem Kuratorium, bestehend aus dem Präsidenten: Prof. EDWARD C. STONE, USA, vier Vizepräsidenten: Dr. C. HAIGNERE, Frankreich; M. G. NAIR, Indien; Dr. H. MATSUO, Japan; Dr. S. N. KONYUKHOV, Ukraine, die gleichzeitig Vorsitzende der vier Ständigen Komitees der IAA sind:

- Wissenschaftliches Programm-Komitee,
- Publikations-Komitee,
- Komitee f. Auszeichnungen u. Mitglieder,
- Finanzkomitee.

Aufgaben der IAA:

- Förderung der Entwicklung der Astronautik für zivile Anwendungen,

- Aufnahme von Einzelpersonen, die sich mit ihrer Arbeit auf dem Gebiet der Astronautik Verdienste in ihren eigenen Ländern und international erworben haben,
- Aufnahme von korrespondierenden Mitgliedern, d. h. von verdienten Experten, die sich für die Vertiefung der internationalen Kooperation in der Weltraumforschung einsetzen,
- Erarbeitung von Programmen zur Entwicklung der Weltraumwissenschaften in Kooperation mit nationalen wissenschaftlichen und technologischen Einrichtungen.

Der IAA gehören ca. 1200 Mitglieder aus rund 65 Staaten an. Ihre Aktivitäten sind international und auf den Weltraum ausgerichtet. So werden z. B. für das 21. Jahrhundert als Zielstellungen gesetzt, die Errichtung einer bemannten Mondbasis und die erste bemannte Mission zum Mars zu unterstützen und wissenschaftlich zu begleiten.

Die Mitglieder der IAA kommen aus nahezu allen Berufen, deshalb ist die IAA in vier Disziplinen/Sektionen unterteilt:

- Grundlagenforschung,
- Ingenieurwissenschaften,
- Medizin/Biologie
- Sozialwissenschaften.

Für die wissenschaftliche Arbeit der IAA wurden sechs Kommissionen eingesetzt, die von 2005 bis 2007 mit folgenden Leitern/Stellvertretern besetzt sind:

1. *Space Physical Sciences*, W. HUNTRESS, USA/G. HÄRENDEL, D
2. *Space Life Sciences*, G. HORNECK, D/J. RUMMEL, USA
3. *Space Technology & System Development*, H. RAUCK, D/T. YASAKA/JPN
4. *Space System Operation & Utilisation*, R. SANDAU, D/L. PAXTON, USA
5. *Space Policy Law & Economy*, G. BRACHET, F/K.-U. SCHROGL, D
6. *Space & Society, Culture & Education*, R. MALINA, USA/D. RAITT, UK

IAA Publikationen:

- *Acta Astronautica Journal*, es erscheint bereits seit 1959,

- *Academy Newsletter*, erscheint 3-monatlich,
- *Cosmic Studies*,
- *Position Papers*.

Die IAA veranstaltet zahlreiche Symposien und Konferenzen. Im Jahre 2005 u. a.:

- 5th IAA Symposium on Small Satellites for Earth Observation, 4.–8.4. in Berlin,
- 6th IAA International Conference on Low-Cost Planetary Missions, 11.–13.10. in Kyoto, Japan,
- IAA Symposia organized in the frame of the 56th International Astronautical Congress, 17.–21.10. in Fukuoka, Japan.

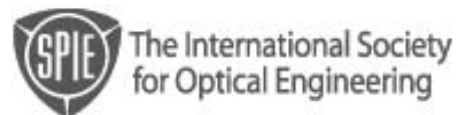
Im Jahre 2006:

- 57th International Astronautical Congress, 2.–6.10. in Valencia, Spanien.

Anschrift:

International Academy of Astronautics
Secretariat: 6 rue Galilée, 75116 Paris, PO
Box 1268-16 F-75766, Paris Cedex 16,
France, Tel.: 33-1-47 23 82 15,
Fax: 33-1-47 23 82 16

Quelle: <http://www.iaaweb.org/>



SPIE Internationale Gesellschaft für Optische Technik

Präsidentin: MALGORZATA KUJAWINSKA

SPIE ist eine nichtstaatliche Organisation (NGO, not-for profit international society, dedicated to advancing optics and photonics), gegründet zur Entwicklung von Optik und Photonik.

Im Jahre 2005 feierte SPIE ihr 50-jähriges Bestehen mit dem Slogan „Von der Photographie zur Photonik“.

SPIE hat gegenwärtig folgende **Schwerpunkte**:

- Nanotechnologie,
- Verteidigung und Sicherheit,

- Luft- und Raumfahrt, Fernerkundung und Astronomie,
- Automation, Prüftechnik, Produktherstellung,
- Biomedizinische Optik,
- Kommunikation und Faseroptik,
- Elektronische Abbildungen, Displays und Medizinische Abbildungen,
- Laser und ihre Anwendungen,
- Mikroelektronik, Optoelektronik und Mikrofertigung,
- Optische Physik, Chemie und Biologie,
- Optische Wissenschaften und Fertigung,
- Signal- und Bildverarbeitung.

SPIE Mitglieder:

Die SPIE hat mehr als 16000 Mitglieder, darunter *Individuelle Personen, Korporative Mitglieder, Studenten, High School Studenten*.

SPIE Publikationen:

- Optical Engineering (OE)
- Journal of Electronic Imaging (JEI)
- Journal of Biomedical Optics (JBO)
- Journal of Microlithography, Microfabrication & Microsystems (JM3)
- Online Journals
- Subscription Information

SPIE Konferenzen 2006 (Auswahl):

12.–16. Juni: *Great Lakes Photonics Symposium* in Dayton, Ohio

10.–14. Juli: 7th National Symposium on *Display Holography* in St. Asaph, UK

13.–17. August: *Optics Photonics* Konferenz in San Diego CA, USA, gekoppelt mit SPIE's 51st Annual Meeting

3.–7. September: *APOC 2006 Asia-Pacific Optical Communications* in Gwangju, South Korea

11.–16. September: SPIE Europa Symposium *Optics/Photonics in Security and Defense* und gleichzeitig: SPIE Europa Symposium *Remote Sensing* in Stockholm, Schweden

13.–15. September: *Speckle 2006*, International Conference in Nimes, Frankreich

25.–27. September: *Boulder Damage Symposium* in Boulder CO, USA

1.–4. Oktober: *Optics East* in Boston, MA, USA

13.–17. November: *Asia-Pacific Remote Sensing* in Goa, Indien

SPIE – The International Society for Optical Engineering

PO Box 10, Bellingham, WA 98227-0010 USA, Tel.: +1-360-676 3290, Fax: +1-360-647 1445, e-mail: spie@spie.org

SPIE Europe

63 Aldsworth Road, Victoria Park, CF5 1 AB UK

Tel.: +44-29-2056 9169, Fax: +44-29-2040 4873, spieeurope@spieeurope.org

Quelle: <http://spie.org>

Hochschulnachrichten

Universität Bonn

Dipl.-Ing. RALF STÜBER wurde am 25. November 2005 am Fachbereich Geodäsie (Institut für Kartographie und Geoinformation) der Universität Bonn mit der Dissertation „*Generalisierung von dreidimensionalen Gebäudemodellen unter Wahrung der visuellen Richtigkeit*“ zum Dr.-Ing. promoviert. Hauptreferent:

Prof. Dr.-Ing. DIETER MORGENSTERN

Korreferent:

Prof. Dr. rer. nat. LUTZ PLÜMER

Autorreferat: Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Generalisierung und nachfolgenden Präsentation von dreidimensionalen Gebäudemodellen. Die Entwicklungen der jüngeren Zeit, wie automatische Verfahren zur Herstellung von Gebäudemodellen aus Geobasisdaten, ermöglichen deren Generierung mit einer immer größeren Flächendeckung bei zunehmendem Detailreichtum. Neben der wachsenden Leistungsfähigkeit der Hard- und Software etablieren sich neue raumbezogene Datenbestände wie zum Beispiel ALKIS, deren Struktur und Inhalt sich immer besser für die automatisierte Herstellung detailreicher 3D-Gebäudemodelle eignen.

Um einen bestmöglichen Nutzen aus diesen Daten zu erhalten, müssen die 3D-Modelle einem möglichst breiten Anwenderkreis zugeführt werden können. Dafür ist erstens eine schnelle Übertragbarkeit der Modelle über konventionelle Datenleitungen und zweitens die Lauffähigkeit auch interaktiver Darstellungen auf möglichst kostengünstigen Plattformen erforderlich.

Ausgehend von der Idee, dass eine Visualisierung nur mit tatsächlich erkennbaren Objekten belastet werden darf, werden zunächst Mindestgrößen für deren Erkennung hergeleitet. Grundlage dafür sind die physiologischen Grenzen der menschlichen Wahrnehmung und die Eigenschaften des Darstellungsmediums Computerbildschirm. Daraus ergibt sich der formale Zu-

sammenhang zwischen der Objekterkennbarkeit im 3D-Modell, der Größe in der Realwelt und des Betrachtungsabstands. Damit kann für jede Betrachtungssituation objektiv entschieden werden, ob die Darstellung einer Objektgeometrie erforderlich ist. Diese Erkenntnisse sind die Grundlage für die angestrebte Variation der Detaillierungsgrade in den 3D-Präsentationsmodellen.

Die folgende Analyse der kartographischen Generalisierung ergibt, dass lediglich die Vereinfachung und die Zusammenfassung nicht mit dem Prinzip der visuellen Richtigkeit kollidieren. Dabei soll unter einer visuell richtigen Abbildung eine Darstellung verstanden werden, die dem Betrachter einen zum Anblick der Realwelt kongruenten Eindruck ermöglicht. Alle anderen Operationen verletzen dieses Prinzip, da sie die realen Verhältnisse der Darstellungssituation verändern.

Die Methoden der Computergrafik unterscheiden invasive und nicht invasive Verfahren. Invasive Verfahren modifizieren wie die kartographischen Vorgehensweisen die gespeicherten Objektgeometrien. Es ergibt sich unter anderem, dass die Anwendung der ermittelten Mindestgrößen das Vorwissen bezüglich der charakteristischen Eigenschaften von Gebäuden und deren Zusammenfassung nur mit den kartographischen Verfahren möglich sind. Die nicht invasiven Verfahren greifen unabhängig von den anderen Verfahren während der Modellpräsentation und erhöhen die Darstellungsgeschwindigkeit. Somit sind die computergrafischen Verfahren für die gegebene Aufgabenstellung nur ergänzend geeignet.

Bei der entwickelten Generalisierungsmethodik wird der Einfluss der kartographischen Mindestgrößen betont, die Art und Maß der Objektstrukturierung steuern. Dabei werden die Gebäudeobjekte in ihre Bestandteile zerlegt, Sichtbarkeitsintervallen zugeordnet und in einer Baumstruktur repräsentiert. Dieser werden mit zunehmender Stufe immer kleinere Objektteile zu-

geordnet. So ergibt sich die detailreichste Darstellung aus der Aggregation aller Objektteile, wohingegen generalisierte Repräsentationen durch Begrenzung des minimalen Sichtabstandes entstehen. Bei kleinerem Betrachtungsmaßstab werden die Wurzeln der strukturierten Objekte zusammengefasst. Dazu wird ein Gesamtkonzept erarbeitet, um ein optimales Zusammenwirken von Strukturierung und Zusammenfassung zu erreichen. Damit entsteht eine neue nach Präsentationsgesichtspunkten aufgebaute Struktur der Darstellungsobjekte.

Für die Speicherung der so strukturierten Gebäudemodelle wird ein Datenmodell vorgestellt, das zusätzlich alle für die Darstellung von Stadtmodellen notwendigen Objekte und Verknüpfungen mit externen Diensten aufnimmt. Die Gebäudeobjekte und deren Teile ordnen sich dabei in eine gerichtete Baumstruktur ein, die die Hierarchie des Gesamtmodells repräsentiert. Durch die Verschneidung mit einem Field-Tree wird ein effizienter räumlicher Zugriff auf die multiskaligen Gebäudemodelle erreicht.

Somit liegt eine datenbankbasierte Speicherung von Präsentationsdaten vor, die insbesondere den Zugriff auf die dreidimensionalen Modelle über Dienste optimiert. Das äußert sich durch schnellen Zugriff auf die Modelldaten in der Datenbank. Zusätzlich wird die zu transferierende Datenmenge sowohl in der Gesamtmenge minimiert als auch gleichmäßig über die Betrachtungszeit verteilt, da das Modell differentiell in Abhängigkeit des Betrachtungsverhaltens nachgeladen werden kann. Beide Aspekte und damit das Ergebnis dieser Arbeit führen dazu, dass erheblich großflächigere und zugleich detailliertere Modelle auch in verteilten Umgebungen präsentiert werden können.

Die Dissertation erscheint in der *Schriftenreihe des Instituts für Kartographie und Topographie der Rheinischen-Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn* als Heft Nr. 32. Ferner ist diese Dissertation auf dem *Hochschulschriftenserver der ULB Bonn* elektronisch publiziert (http://hss.ulb.uni-bonn.de/diss_online/landw_fak/2005/stueber_ralf/index.htm).

**Universität Osnabrück
Universität Hannover
Fachhochschule in Oldenburg
Universität Hildesheim**

Kostenlose Nutzung von E-Learning-Modulen

Erstes Modul jetzt auch auf PDA einsetzbar.

Die große Nachfrage nach den Schnuppermodulen des E-Learning-Projektes *Fernstudienmaterialien Geoinformatik (FerGI)* – bisher haben sich rund 250 Personen direkt angemeldet – hat die Entwickler dazu veranlasst, das kostenlose Angebot auf unbestimmte Zeit zu verlängern. Damit haben alle Interessierten freien Zugang zu den Vollversionen der bisher 17 fertig gestellten Module, die die gesamte Bandbreite der Erfassung, Analyse, Visualisierung und Anwendung von Geodaten abdecken.

Zur Nutzung ist lediglich ein Internet-Browser notwendig, aber auch eine Integration in eventuell schon vorhandene Lernplattformen (Moodle, ILIAS, Lotus Notes etc.) ist denkbar. Eine Übersicht über Titel und Inhalte der Module gibt die Projekt-Website www.fergi-online.de, von wo aus auch die formlose Anmeldung erfolgen kann. Als einzige Gegenleistung bitten die FerGI-Autoren nach dem Einsatz um ein Feedback mittels eines kurzen Online-Fragebogens, um eine weitere Optimierung der Module zu ermöglichen.

Eine Besonderheit des Projektes stellt die Portierung des Moduls „Mobile Datenerfassung mit den PDA“ auf einen Personal Digital Assistant (PDA) dar. Mit diesem Szenario bietet das FerGI-Projekt auch einen der seltenen Beiträge im Feld des „mobile learning“.

FerGI ist ein Verbundprojekt niedersächsischer Hochschulen (Osnabrück, Hannover, Oldenburg und Hildesheim), das von der Bundesregierung (BMBF) und dem Land Niedersachsen (MWK) gefördert wird.

JOCHEN SCHIEWE, Osnabrück



Layout der PDA-Version eines FerGI-Moduls.

Universität Osnabrück

GiN

Kompetenzzentrum für
Geoinformatik in Niedersachsen

jetzt e.V.

Am 9.2.2006 wurde im Osnabrücker Schloss feierlich der neue gemeinnützige Verein zur Förderung der Geoinformatik in Norddeutschland e.V. (GiN)

gegründet. Der Verein geht hervor aus dem Kompetenzzentrum für Geoinformatik, welches seit Anfang 2003 die Kräfte der auf dem Gebiet der Geoinformatik führenden Hochschulen Norddeutschlands bündelt. Zu den ursprünglichen Partnern des bis Ende 2005 vom Land Niedersachsen geförderten Kompetenzzentrums, nämlich den Universitäten Osnabrück, Hannover sowie der Fachhochschule Oldenburg, sind inzwischen die Universitäten Braunschweig,

Clausthal und Kiel sowie die FH Osnabrück und die HafenCity Universität Hamburg hinzu gestoßen. Der neue Verein soll Kompetenzen in Wissenschaft, Wirtschaft und Verwaltung bündeln, um innovative Geschäftszweige zu initiieren und neue Arbeitsplätze zu schaffen. Um dieses Ziel zu erreichen, sind außer den Hochschulen auch Firmen und Behörden im GiN e.V. vertreten.

Das Vorstandsteam des neuen Vereins setzt sich aus Prof. EHLERS (Institut für Geoinformatik und Fernerkundung der Universität Osnabrück), Herrn SPOEDE (EWE AG), Dr. BUZIEK (ESRI Geoinformatik GmbH) und Dr. JÄGER, Landesvermessung und Geobasisinformation Niedersachsen (LGN), zusammen. Die Geschäftsführung hat Dipl.-Ing. ANSGAR GREIWE übernommen.

Nach dem Abschluss der dreijährigen öffentlichen Förderung übernimmt nun der Verein die Unterstützung aller Bereiche und Organisationen in Norddeutschland, die sich mit Geoinformatik befassen oder diese

nutzen. Durch gestaffelte Mitgliedsbeiträge ist es auch Einzelpersonen möglich, dem Verein beizutreten. Da der neue Verein seinen Sitz in Osnabrück hat und von einem Osnabrücker Wissenschaftler geleitet wird, bemüht er sich um eine Anerkennung als *An-Institut* der Universität Osnabrück. Weitere Informationen zum GiN sind unter www.gin-online.de zu finden.

Kontakt:

Institut für Geoinformatik und Fernerkundung, Universität Osnabrück
Seminarstraße 19a/b, D-49069 Osnabrück
Tel.: +49-541-969-4591,
Fax: +49-541-969-4061,
www.igf.uni-osnabrueck.de
e-mail: sekretariat@igf.uni-osnabrueck.de

Vorankündigungen

2006

27.–30. Juni: **ISPRS Mid-term Symposium Commission VI – “E-Learning & the Next Steps for Education”** in **Tokyo**/Japan. Auskünfte durch: Prof. Kohei Cho, Pres. Com. VI., Department of Network and Computer Engineering, Tokai University, 2-28-4, Tomigaya, Shibuya-ku, Tokyo, 151-0063, Japan, Tel.: +813-3481-0611, Fax: +813-3481-0610, e-mail: kcho@keyaki.cc.u-tokai.ac.jp oder: cho@yoyogi.ycc.u-tokai.ac.jp, www.commission6.isprs.org, www.tric.u-tokai.ac.jp/ISPRScom6/TC6_2006_Symp.htm

28./29. Juni: 21. **Intergraph – Anwender-Konferenz GeoForum 2006** in **Weimar**, congress centrum neue weimarhalle. Auskünfte durch: Dr. Matthias Alisch, Tel.: 49-228-3915-123, Fax: 49-228-3915-223, e-mail: matthias.alisch@intergraph.com

28.–30. Juni: 9. **Symposium on the 3-D Analysis of Human Movement in Valenciennes**, Frankreich. Auskünfte durch: Franck Barbier, e-mail: franck.barbier@univ-valenciennes.fr, www.univ-valenciennes.fr/congres/3D2006/

3.–6. Juli: **ISPRS Mid-term Symposium Commission I – “From Sensors to Imagery”** in **Marne-la-Vallée**/Paris. Auskünfte durch: Alain Baudoin, Pres. Com.I, CNES, 2, place

Maurice Quentin, F-75039 Paris Cedex 01, Tel.: +33-1-4476 7810, Fax: +33-1-4476 7867, e-mail: alain.baudoin@cnes.fr oder: sfpt@ensg.ign.fr, www.cnes.fr, www.commission1.isprs.org, www.colloquium.fr/ei/content/Congres/06SFPT/06SFPT_index.htm

4./5. Juli: 1th **International Conference on Object-based Image Analysis (OBIA 2006) “Bridging Remote Sensing and GIS”** in **Salzburg**. Diese Konferenz ist gekoppelt mit **AGIT 2006**. Auskünfte durch: Dr. Stefan Lang, Z_GIS Centre for Geoinformatics, Universität Salzburg, Hellbrunnerstr. 34, A-5020 Salzburg, Tel.: +43-662-8044 5262, Fax: +43-662-80445260, e-mail: stefan.lang@sbg.ac.at, Thomas Blaschke, e-mail: Thomas.Blaschke@sbg.ac.at, www.uni-salzburg.at/zgis/lang, www.agit.at/obia

5.–7. Juli: 10th **International Conference on Information Visualization (IV06)** in **London**. Auskünfte durch: Ebad Banisse, Tel.: +44-171-815-7476, e-mail: banisse@lsbu.ac.uk, www.graphicslink.co.uk/IV06/

5.–7. Juli: 3rd **International Conference on BioMedical Visualisation (MediViz06)** in **London**. Auskünfte durch: Anita D’Pour, Tel.: +44-1707-652224, Fax: +44-1707-652247, e-mail: MV06@graphicslink.co.uk, <http://www.grgraphicslink.co.uk/MV06/>

5.–7. Juli: 7th **International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources & Environmental Sciences in Lisbon**. Auskünfte durch: Secretariat, Tel.: +351-21-381-9600 # 352, Fax.: +351-21-381-9699, e-mail: mcpereira@igeo.pt, www.2006.spatial-accuracy.org/

7. Juli: **GI4DEV-Geoinformation for Development-Conference in Salzburg**. Auskünfte durch: Stefan Kienberger, e-mail: stefan.kienberger@sbg.ac.at, www.agit.at/gi4dev

8. Juli: **ICA Workshop on Geospatial Analysis & Modeling in Wien**. Auskünfte durch: Bin Jiang, Tel.: +46-26-64-8901, Fax: +46-26-64-8828, e-mail: bjg@hig.se, www.hig.se/~bjg/ica/workshop/

8./9. Juli: **GEOSS Workshop The User and the GEOSS Architecture IV in Corsica, France**. Auskünfte durch: www.grss-ieee.org/menu.taf?menu=GEOSS

10.–12. Juli: 12th **International Symposium on Spatial Data Handling in Wien**. Auskünfte: Programme Committee, e-mail: greg.elmes@mail.wvu.edu, www.agile-secretariat.org/docs/12th_SDH.pdf

10.–14. Juli: 7th **National Symposium on Display Holography in St. Asaph, UK**. Auskünfte: http://spie.org/app/conferences/index.cfm

11.–13. Juli: **2006 IASME/WSEAS International Conference on Energy, Environment, Ecosystems and Sustainable Development (EEESD'06) in Athen**. Auskünfte durch: Adrianos Retails, e-mail: adrianr@space.noa.gr, www.worldses.org/conferences/2006/greece/energy/

12.–14. Juli: **ISPRS Mid-term Symposium Commission II – GICON 2006 “Geoinformation Connecting Societies” in Wien**. Parallel dazu findet am gleichen Ort der **Mitteleuropäische Kartographentag** und der **54. Deutsche Kartographentag** statt. Auskünfte durch: Prof. Wolfgang Kainz, Pres. Com.II., University of Vienna, e-mail: wolfgang.kainz@univie.ac.at, www.gicon2006.at

16.–23. Juli: 36th **Scientific Assembly of the Committee on Space Research (COSPAR2006) in Beijing**. Auskünfte durch: Lijuan EN, Tel.: +86-10-6255 8707, Fax: +86-10-6265 3261, e-mail: cncospar@cssar.ac.cn, http://www.cospar2006.org/

25.–28. Juli: 3rd **International Conference on Computer Graphics, Imaging & Visualization (CGIV06) in Sydney**. Auskünfte durch: Ebad Banisse, Tel.: +44-171-815-7476, e-mail: IV06_CGIV06@graphicslink.co.uk, www.graphicslink.co.uk/cgiv06/

25. Juli – 3. August: **Summer School Alpbach 2006: Monitoring of Natural Hazards from Space in Alpbach, Tirol, Österreich**. Auskünfte: www.grss-ieee.org/menu.taf?menu=Conferences&detail=Conferences

31. Juli – 4. August: **IEEE/IGARSS 2006 in Denver, CO, USA**. Auskünfte durch: Ms. Lisa A. Ostendorf, Tel.: +1-540-658-1676, Fax: +1-540-658-1686, e-mail: ieeeegrss@adelphia.net, www.igarss06.org

7./8. August: **International Workshop on 3D Geoinformation 2006 (3DGeoInfo'06) in Kuala Lumpur**. Auskünfte durch: Alias Abdul Rahman, Tel.: +60-7-553 0563, Fax: +60-7-556 6163, e-mail: alias@fksg.utm.my, www.gdmc.nl/zlatanova/3DGeoInfo2006/

13.–17. August: **SPIE Optics & Photonics und 51th SPIE Annual Meeting in San Diego, CA, USA**. Auskünfte: http://spie.org/app/conferences/index.cfm

1.–3. September: **ISPRS 7th Joint ICA/EuroGeographic International Workshop on “Incremental Updating & Versioning” in Haifa, Israel**. Auskünfte durch: Ammatzia Peled, Tel.: +972-48-34 3591, Fax: +972-48-34 3763, e-mail: peled@geo.haifa.ac.il, http://geo.haifa.ac.il/~icaupdt/

3.–7. September: **APOC 2006 (Asia-Pacific Optical Communications) in Gwangju, Südkorea**. Auskünfte: http://spie.org/app/conferences/index.cfm

4.–7. September: **ISPRS Mid-term Symposium Commission VIII** *“Remote Sensing Applications for a Sustainable Future”* in **Haifa**, Israel. Auskünfte durch: Ammatzia Peled, Pres. Com.VIII, Tel.: +972-48-34 35 91, Fax: +972-48-34 3763, e-mail: peled@geo.haifa.ac.il, www.commission8.isprs.org

5.–8. September: **RSPSoc Annual Conference in Cambridge**, UK. Auskünfte durch: Patsy Wilson-Smith, e-mail: administrator@uflm.cam.ac.uk, www.rpsoc.org

11.–13. September: 26. **Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF** *„Geoinformatik und Erdbeobachtung”* in **Berlin-Adlershof**. Auskünfte: www.dgpf.de

11.–16. September: **SPIE Europa Symposium Optics/Photonics in Security and Defense**. Gleichzeitig: **SPIE Europa Symposium Remote Sensing** in **Stockholm**. Auskünfte: <http://spie.org/app/conferences/index.cfm>

12.–14. September: 28. **DAGM-Tagung 2006** in **Berlin**. Auskünfte durch: Konferenz-Sekretariat Frau Andrea Semionyk, Fraunhofer Institut für Telekommunikation, Heinrich-Hertz-Institut, Image Processing Department. Einsteinufer 37, D-10587 Berlin, Tel.: +49-30-31002-561, Fax: +49-30-3927 200, e-mail: dagm06@hhi.de, <http://dagm06.hhi.de>

13.–15. September: **Speckle 2006 International Conference** in **Nimes**, Frankreich. Auskünfte: <http://spie.org/app/conferences/index.cfm>

13.–15. September: **9. AGIS-Seminar „GIS & Internet”** in **Neubiberg**. Auskünfte durch: AG Geoinformationssysteme GIS (AGIS) der Universität der Bundeswehr München. Tel.: 089-6004-2451, Fax: 089-6004-3906. www.agis.unibw.de

14.–22. September: 9th **International Symposium on High Mountain Remote Sensing Cartography** in **Graz** mit mehrtägiger Alpenexkursion. Auskünfte: e-mail wolfgang.sul-

zer@uni-graz.at, http://www.kfunigraz.ac.at/geowww/hmrsc/hmrsc_9.htm

18./19. September: 43. **AgA-Tagung** „Arbeitsgemeinschaft **Automation in Kartographie, Photogrammetrie und GIS**” der DGfK im Hasso-Plattner-Institut **Potsdam**. Auskünfte und Einreichung von Beiträgen: www.ikg.uni-hannover.de/aga

18.–20. September: **International Conference on Image Analysis & Recognition (ICIAR 2006)** in **Póvoa de Varzim**, Portugal. Auskünfte durch: Sekretariat, Tel.: +351-22-508-1623, Fax: +351-22-508-16 24, e-mail: gafonso@fe.up.pt, www.iciar.uwaterloo.ca/

19.–22. September: **ISPRS Mid-term Symposium Commission III** *“Photogrammetric Computer Vision PCV’06”* in **Bonn**. Auskünfte durch: Prof. Wolfgang Förstner, Pres. Com.III, Tel.: +49-228-732 2713, Fax: +49-228-732 2712, e-mail: wf@ipb.uni-bonn.de, www.commission3.isprs.org, www.ipb.uni-bonn.de/isprs/pcv06/

20. September: **ISPRS WG IV/6 UbiGIS 2006 Workshop** in **Münster**. Auskünfte durch: Alexander Zipf, e-mail: zipf@geoinform.fh-mainz.de, www.ubigis.org

24.–29. September: XII **SELPER International Symposium GIS & Remote Sensing applied to Natural Risk & Territory Management** in **Cartagena de Indias**, Kolumbien. Auskünfte durch Sekretariat Tel.: + 571-480 9453, Fax: + 571-369 4096, e-mail: simpso@selper.org.co, http://www.selper.org.co/pdfs/symposium_information.pdf

25./26. September: 2nd **International Symposium on Geo-Information for Disaster Management** in **Goa** (The Hotel Marriot), Indien. Auskünfte: www.grss-ieee.org/menu.taf?menu=Conferences&detail=Conferences

25.–27. September: **SPIE Boulder Damage Symposium** in **Boulder**, CO, USA. Auskünfte: <http://spie.org/app/conferences/index.cfm>

25.–27. September: **ISPRS Mid-term Symposium Commission V "Image Engineering and Vision Metrology"** in **Dresden**. Auskünfte durch: Prof. Hans-Gerd Maas, Pres. Com.V, Tel.: +49-351-463-33680, Fax: +49-351-463-37266, e-mail: hmaas@rcs.urz.tu-dresden.de, www.commission5.isprs.org, www.tu-dresden.de/ipf/symposium/

27.–30. September: **ISPRS Mid-term Symposium Commission IV "Geospatial Databases for Sustainable Development"** in **Goa**, Indien. Auskünfte durch: Shailesh Nayak, Pres. Com.IV, Tel.: +91-79-2691 4141, Fax: +91-79-26915, e-mail: shailesh@sac.isro.org, www.commission4.isprs.org

28.–30. September: 2nd Workshop of the **EARSeL Special Interest Group on Land Use and Land Cover** in **Bonn**. Auskünfte durch: Zentrum für Fernerkundung der Landoberfläche, Universität Bonn, c/o Ellen Götz, Walter-Flex-Str. 3, D-53113 Bonn, Tel.: 0228-73-4978, Fax: 0228-73-6857, zfl@uni-bonn.de, <http://www.zfl.uni-bonn.de/earsel/earsel.html> und EARSeL, Secretariat, Gesine Böttcher, c/o Institute of Photogrammetry and GeoInformation, Nienburger Str. 1, D-30167 Hannover, Tel.: 0511-762 2482, Fax: 0511-762 2483, e-mail: secretariat@earsel.oriz, <http://www.earsel.oriz>

1.–4. Oktober: **SPIE Optics East** in **Boston**, USA. Auskünfte: <http://spie.org/app/conferences/index.cfm>

2.–6. Oktober: 57th **International Astronautical Congress der IAA** in **Valencia**, Spanien. Auskünfte: www.iaaweb.org

4.–6. Oktober: 2nd **Goettingen GIS & Remote Sensing Days "Global Change Issues in Developing and Emerging Countries"** in **Göttingen**. Auskünfte durch: Martin Kappas, e-mail: GGRS@uni-goettingen.de, www.ggrs.uni-goettingen.de

8.–13. Oktober: XXIII. **Internationaler FIG Kongress "Shaping the Change"** in **München**. Auskünfte durch: FIG Office, Tel.: +45-38-861081, Fax: +45-38-860252, e-mail: fig@

fig.net und Thomas Gollwitzer, Kongressdirektor, Tel.: 49-9-414022-200, Fax: +49-9-414022-101, e-mail: congress.director@fig2006.de, www.fig2006.de/

9.–13. Oktober: IX **Global Spatial Data Infrastructure Conference** in **Santiago**, Chile. Auskünfte durch: Instituto Geografico Militar (IGM), e-mail: gdsdi9@igm.cl, www.igm.cl

9.–13. Oktober: 27th **Asian Conference on Remote Sensing (ACRS2006)** in **Ulaanbaatar**, Mongolei. Auskünfte durch: Conference Secretariat, Tel./Fax: +976-11-32 7824, e-mail: msaandar@mongol.net, <http://www.acrs2006.ub.mn>

10.–12. Oktober: **INTERGEO 2006 „Wissen und Handeln für die Erde“** in **München**, ICM-Messegelände. Kongressdirektor: Dipl.-Ing. Walter Henninger. Auskünfte durch: e-mail: www.dvw.de, www.intergeo2006.de und www.hinte-messe.de

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

30. Oktober – 2. November: 6th International Conference on **Earth Observation & Geo-information Sciences in Support of Africa's Development (AARSE2006)**, African Association of Remote Sensing of the Environment in **Cairo**, Ägypten. Auskünfte durch: Sayed M. Arafat, Tel.: +202-622 5818, Fax: +202-622 5800, e-mail: smarafat@narss.sci.eg, www.narss.sci.eg/aarse2006, <http://spie.org/app/conferences/index.cfm>

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

3.–11. November: 9th International Conference of the **Global Spatial Data Infrastructure (GSDI-9) Spatial Information: Tools for Reducing Poverty in Santiago**, Chile. Auskünfte: Organizing Committee, Tel.: +56-2-410 9427, e-mail: gdsdi9@igm.cl, www.igm.cl/gdsdi9/

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

13./14. November: **NatureProtection:GIS**. International Symposium on Geoinformatics in Eurorean Nature Protection Regions in **Dresden**. Auskünfte durch: Prof. Elmar Csaplovics, TU Dresden, Helmholtzstr. 10, 01069 Dresden, Tel.: +49-351-463-33372, Fax: +49-351-463-37266 und: Birgit Hantusch, Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V., Weberplatz 1, 01217 Dresden, Tel.: +49-351-4679-273, Fax: +49-351-4679-212

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

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

2007

11.–17. Februar: 14. **Internationale Geodätische Woche** des Instituts für Geodäsie der Leopold-Franzens-Universität Innsbruck in **Obergurgl**, Tirol, Österreich. Auskünfte durch: Dr. Thomas Weinhold, A-6020 Innsbruck, Technikerstr.13, Tel.: +43-512-507-6757 oder 6755, Fax: +43-512-507-2910, e-mail: geodaetischewoche@uibk.ac.at, http://geodaesie.uibk.ac.at/geod_wo.html

29.–31. Mai: **ISPRS IC WG I/V + V/I, WG I/2 + 3 5th International Symposium on Mobile Mapping Technology (MMT2007) in Pa-**

dua, Italien. Auskünfte durch: Dr. Naser El-Sheimy, Chair IC WG I/V, Tel.: +1-403-220-7587, Fax: +1-403-284-1980, e-mail: naser@geomatics.ucalgary.ca, www.cirgeo.unipd.it/sitocirgeo/mm_frst.html

29. Mai – 1. Juni: **ISPRS WG I/5, IV/3 Workshop “High Resolution Earth Imaging for Geospatial Information” in Hannover**. Auskünfte durch: Karsten Jacobsen, e-mail: karsten@ipi.uni-hannover.de und Christian Heipke, e-mail: heipke@ipi.uni-hannover.de, <http://www.ipi.uni-hannover.de>

2.–6. Juni: **FIG XXX General Assembly and Working Week in HongKong**. Auskünfte durch: FIG Office, e-mail: fig@fig.net, www.fig.net/events/events2007.htm

19.–21. Juni: 27. **Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF und Jahrestagung der SGPBF** der Schweiz in **MuttENZ** (Basel). Auskünfte: www.dgpf.de und Prof. Stephan Nebiker, Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut Vermessung und Geoinformation, Gründenstr. 40, CH-4132 MuttENZ, Tel.: +41-61-467-4336, Fax: +41-61-467-4460, e-mail: stephan.nebiker@fh.nw.ch, www.sgpbf.ch

4.–6. Juli: **AGIT 2007 in Salzburg**. Auskünfte durch: Dr. Stefan Lang, Z_GIS Centre for Geoinformatics, Universität Salzburg, Hellbrunnerstr. 34, A-5020 Salzburg, Tel.: +43-662-8044 5262, Fax: +43-662-8044 5260, e-mail: stefan.lang@sbg.ac.at, Thomas Blaschke, e-mail: Thomas.Blaschke@sbg.ac.at, www.uni-salzburg.at/zgis/lang, www.agit.at/obia

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

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

Persönliches

O. Univ. Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c.

KARL KRAUS verstorben

Am Mittwoch, den 5. April 2006, ist unser sehr verehrter Kollege und Freund KARL KRAUS, Mitglied der DGPF seit 1963, im Alter von nur knapp 67 Jahren in Berlin verstorben.



Er hatte dort noch am 29. März einen Vortrag bei den "5th Turkish-German Joint Geodetic Days" gehalten. Kurz darauf hat er einen Herzanfall erlitten, von dem er sich nicht mehr erholen konnte.

KARL KRAUS hatte an der damaligen Technischen Hochschule München Vermessungswesen studiert, dort promoviert und über einige Zwischenaufenthalte schließlich 1974 die Leitung des Instituts für Photogrammetrie der Technischen Universität Wien übernommen. Dieses Institut führte er sehr erfolgreich bis jetzt zu seinem plötzlichen Tod. Von 1987 bis 1989 stand er der TU Wien als Rektor vor. In der ISPRS nahm er von 1992 bis 1996 das Amt der Kongressdirektors wahr. 1996 organisierte und leitete er sehr erfolgreich den XVIII. ISPRS-Kongress in Wien.

Für seine Forschungsarbeiten wurde KARL KRAUS mit zahlreichen Ehrungen bedacht.

Die deutsche und die internationale *Photogrammetrie und Fernerkundung* verlieren mit KARL KRAUS einen ihrer profiliertesten wissenschaftlichen Vertreter, der diese Fachgebiete nachhaltig geprägt hat. Mit seinen in viele Sprachen übersetzten Lehrbüchern für Photogrammetrie und Fernerkundung ist er wohl jedem von uns ein Begriff. Seine Persönlichkeit zeichnete sich nicht nur durch hohes Fachwissen, sondern auch durch Kollegialität, Bescheidenheit und Engagement aus.

Die DGPF und ihre Mitglieder werden dem Verstorbenen ein ehrendes Andenken bewahren. Unser Mitgefühl gilt seiner Familie.

THOMAS LUHMANN, Oldenburg
Präsident der DGPF

Zum Titelbild

Universitätscampus von Hannover in Google Earth



Das Titelbild zeigt die Darstellung eines Teils des Campus der Universität Hannover in 3D in Google Earth. Zu sehen ist im Vordergrund das Welfenschloss, das Hauptgebäude der Universität. Vorne links befindet sich das Gebäude Nienburgerstraße 1, in dem zwei Institute der Fachrichtung Geodäsie und Geoinformatik beherbergt sind, links im Hintergrund ist das Hochhaus in der Appelstraße zu sehen, in welchem sich das Institut für Kartographie und Geoinformatik (ikg) befindet.

Google Earth stellt in dieser Szene ein hoch aufgelöstes Luftbild bereit. Darauf platziert sind die 3D-Daten der Campusgebäude. Das Einbringen eigener Daten in Google Earth ist direkt möglich, wenn diese

in dem Format KML (Keyhole Markup Language) vorliegen. Dieses XML-Format wird bereits von einigen Herstellern als Exportschnittstelle bereitgestellt. In vorliegendem Fall wurde das Konvertierungsprogramm FME benutzt.

Die 3D-Daten des Campus wurden basierend auf Gebäudegrundrissen der Katasterbehörde in Kombination mit Laserdaten erzeugt. Hierzu wurde das Programm ATOP des ikg eingesetzt – wobei in diesem Fall nur die Option „Flachdach“ eingestellt wurde. In der Darstellung wurde eine besondere kartographische Visualisierungsmethode verwendet, um die Campusgebäude speziell hervorzuheben. Dafür wurden die graphischen Variablen Farbe und Form benutzt: die Campusgebäude sind in rot dargestellt, während die Gebäude der Umgebung in grau erscheinen. Weiterhin wurden die Umgebungsgebäude in ihrer Form generalisiert, indem sie mittels des Programms CHANGE zusammengefasst und vereinfacht, sowie mit einer einheitlichen Gebäudehöhe versehen wurden. Hiermit treten sie auch visuell in den Hintergrund – ermöglichen jedoch immer noch die Einbettung der Universitätsgebäude in ihren räumlichen Kontext. Der Datensatz kann von der Homepage des ikg geladen werden.

MONIKA SESTER, GUIDO VON GÖSSELN
Institut für Kartographie und
Geoinformatik (ikg)
Universität Hannover
<http://www.ikg.uni-hannover.de>

Neuerscheinungen

GÜNTER ARLT, JÖRG HENNERSDORF, IRIS LEHMANN & NGUYEN XUAN THINH, (Hrsg.), 2005: Auswirkungen städtischer Nutzungsstrukturen auf Grünflächen und Grünvolumen. IÖR-Schriften/ Band 47. Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung e.V., Weberplatz 1, 01217 Dresden. www.ioer.de/fr_public_1.htm, Direktbestellung: Gisela Richter, Tel.: 0351-4679-267, e-mail: gisela.richter@ioer.de, ISBN 3-933053-28-5. € 11,00

MANFRED F. BUCHROITHNER, (Edit.), 2005: Cartographic Cutting-Edge Technology for Natural Hazard Management. Proceedings of the International Symposium October 20–22, 2004 in Dresden. Kartographische Bausteine, Band 30. Institute for Cartography of the Dresden University of Technology. 200 S., mit CD ROM. ISBN: 3-86005-475-9. Alle Bände sind zu beziehen über: TU Dresden, Inst. für Kartographie, D-01062 Dresden, Tel.: 0351-463-34809, Fax: 0351-463-37028, e-mail: steffi.sharma@tu-dresden.de

KURT BALDENHOFER, 2005: Lexikon der Fernerkundung. Online-Version: www.fellexikon.info und als DVD-ROM-Version, erweitert um Tutorials, vertiefende Materialien, Software und hoch aufgelöste Grafiken. Vertrieb der DVD: Kurt Baldenhofer, Im Häldele 8, 88048 Friedrichshafen, Tel.: 07544-8227, Fax: 07544-741516 und über Prof. Schrettenbrunner, Uni Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl Didaktik der Geographie.

JÖRN DÜWEL & NIELS GUTSCHOW, 2005: Städtebau in Deutschland im 20. Jahrhundert. Ideen – Projekte – Akteure. 2. Aufl., 331 S., brosch., 138 Abb., 21 cm × 14 cm.

E. Schweizerbart, Johannesstr. 3A, D-70176 Stuttgart, www.schweizerbart.de. ISBN 3-443-07141-4. € 48,00

NICOLE UEBERSCHÄR & ANDRÉ M. WINTER, 2006: Visualisierung von Geodaten mit SVG im Internet. Bd. 1: Scalable Vector Graphics – Einführung, clientseitige Interaktionen und Dynamik. XIV, 296 S. Kartoniert. Herbert Wichmann Verlag, Hüthig GmbH & Co. KG, Heidelberg. ISBN 3-87907-431-3. € 45,-

RITA SCHNEIDER-SLIWA, (Ed.), 2006: Cities in Transition. Globalization, Political Change and Urban Development. XI, 333 p. Hardcover, Springer-Verlag, Tiergartenstraße 17, 69121 Heidelberg, ISBN: 1-4020-3866-6. € 139,10

BRUNO MERZ, 2006: Hochwasserrisiken. Möglichkeiten und Grenzen der Risikoabschätzung (Flood risks. Limits and possibilities of risk assessment). X, 334 S., brosch., 105 Abb., 33 Tab., 24 cm × 17 cm. E. Schweizerbart, Johannesstr. 3A, D-70176 Stuttgart, www.schweizerbart.de. ISBN 3-510-65220-7. € 49,80

NORBERT DE LANGE, 2006: Geoinformatik in Theorie und Praxis. 2. aktual. u. erw. Aufl. XIV, 454 S., 184 Illus., gebunden. Springer-Verlag, Tiergartenstraße 17, 69121 Heidelberg, ISBN: 3-540-28291-2. € 69,95

ERIK W. GRAFAREND, 2006: Linear and Nonlinear Models. Fixed effects, Random effects, and mixed models. 24 cm × 17 cm. XX, 752 pages, Cloth. Walter der Gruyter Verlag, PF. 303421, 10728 Berlin. ISBN 3-11-016216-4. € 168,-