

PRG

Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation

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

Jahrgang 2008, Heft 2

Hauptschriftleiter:
Prof. Dr.-Ing. Helmut Mayer

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

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



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



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

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



International Society
for Photogrammetry
and Remote Sensing

DAGM

Deutsche Arbeits-
gemeinschaft für
Mustererkennung e.V.



Herausgeber:

© 2008 Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) e.V.
Präsident: Prof. Dr.-Ing. Thomas Luhmann, Fachhochschule Oldenburg Ostfriesland Wilhelmshaven,
Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik, Ofener Str. 16, D-26121 Oldenburg,
Tel.: +49 (0)441 7708-3172, e-mail: Praesident@dgpf.de, www.dgpf.de
Geschäftsstelle: Dr. Klaus-Ulrich Komp, c/o EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH,
Oststraße 2–18, D-48145 Münster, e-mail: klaus.komp@eftas.com

Published by:

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

© Gedruckt auf alterungsbeständigem Papier nach ISO 9706-1994

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

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

Verantwortlich für den Inhalt der Beiträge sind die Autoren.

ISSN 1432-8364

Hauptschriftleiter: Prof. Dr.-Ing. Helmut Mayer, Institut für Photogrammetrie und Kartographie,
Universität der Bundeswehr München, D-85577 Neubiberg, e-mail: Helmut.Mayer@unibw.de
Schriftleiter: Prof. Dr. rer. nat. Carsten Jürgens, Ruhr-Universität Bochum, Geographisches Institut,
Gebäude NA 7/133, D-44780 Bochum, e-mail: carsten.juergens@rub.de, Prof. Dipl.-Ing. Thomas P.
Kersten, HafenCity Universität Hamburg, Department Geomatik, Hebebrandstr. 1, D-22297 Ham-
burg, e-mail: thomas.kersten@hcu-hamburg.de, Prof. Dr. rer. nat. Lutz Plümer, Universität Bonn,
Institut für Geodäsie und Geoinformation, Meckenheimer Allee 172, D-53115 Bonn, e-mail:
Lutz.Plumer@ikg.uni-bonn.de und Dr.-Ing. Eckhardt Seyfert, Landesvermessung und Geobasisin-
formation Brandenburg, Heinrich-Mann-Allee 107, D-14473 Potsdam, e-mail: eckhardt.seyfert@geo
basis-bb.de

Erscheinungsweise: 6 Hefte pro Jahrgang.

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

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

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

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

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

PFG – Jahrgang 2008, Heft 2

Inhaltsverzeichnis

Originalbeiträge

BECKER, S. & HAALA, N.: Integrated LIDAR and Image Processing for the Modelling of Building Facades	65
RIPPERDA, N.: Grammar Based Facade Reconstruction using rjMCMC	83
ITZEROTT, S. & KADEN, K.: Die schlagbezogene Schätzung des Düngereinsatzes – ein Beispiel für das Flächennutzungsmonitoring mit Fernerkundungsdaten ...	93
THEILEN-WILLIGE, B.: Ringstrukturen in Norddeutschland	109
HENNING, P.: Multi-Format Semantically Rich XML Based Visualization of Urban Structures	121

Berichte und Mitteilungen

Hochschulnachrichten

Leibniz Universität Hannover, Dissertation KARSTEN RAGUSE	133
Universität Stuttgart, Dissertation MARTIN KADA	134
Technische Universität München, Dissertation BORIS JUTZI	136
Technische Universität Wien, Dissertation ALEXANDER HARING	137
Universität Stuttgart, Dissertation TIMO BALZ	138
Leibniz Universität Hannover, Dissertation AXEL WENDT	139
Technische Universität Berlin, Apl. Prof. für Frau Dr. B. THEILEN-WILLIGE ...	140

Buchbesprechungen

KREMERS, H. & LESSING, R. (Proceedings LandCover Logic 2007)	140
BLANKENBACH, J. (Handbuch der mobilen Geoinformation)	141

Mitteilungen der Schriftleitung: Korporatives Mitglied GEOSYSTEMS GmbH ...	142
--	-----

Veranstaltungskalender	143
------------------------------	-----

Zum Titelbild	144
---------------------	-----

Neuerscheinungen	145
------------------------	-----

Korporative Mitglieder	146
------------------------------	-----

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

Integrated LIDAR and Image Processing for the Modelling of Building Facades

SUSANNE BECKER & NORBERT HAALA, Stuttgart

Keywords: Three-dimensional, point cloud, LIDAR, orientation, modelling, facade interpretation

Summary: The acquisition of 3D city and landscape models has been a topic of major interest within the photogrammetric community and a number of algorithms became available both for the automatic and semiautomatic data collection. These 3D models are mainly used for visualisation to generate realistic scenes and animations e. g. for planning and navigation purposes. Since area covering urban models are usually extracted from airborne data, a refinement is required especially if realistic visualisations from pedestrian viewpoints are aspired. Of particular interest are algorithms that allow for a fully automatic facade reconstruction process at different levels of detail. For this purpose, in our approach terrestrial LIDAR data as well as facade imagery is used to increase the quality and amount of detail for the respective 3D building models. The a priori information which is provided by the models from airborne data collection is integrated both for the automatic georeferencing of the terrestrial data and the subsequent geometric refinement. After alignment of the terrestrial data, window structures are determined approximately from the LIDAR point clouds and then further refined by 3D edges which are extracted from the overlapping facade images. Our modelling process applies a 3D object representation by cell decomposition, which can be used efficiently for building reconstruction at different scales.

Zusammenfassung: *Integrierte LIDAR- und Bildprozessierung für die Modellierung von Gebäudefassaden.* Die Erfassung von 3D-Stadt- und Landschaftsmodellen ist zu einer wichtigen Aufgabe der Photogrammetrie geworden. Mittlerweile existiert eine Vielzahl von Algorithmen sowohl für die automatische als auch für die halbautomatische Datenerfassung. Genutzt werden die 3D-Modelle hauptsächlich zu Visualisierungszwecken, um beispielsweise für Planungs- und Navigationsanwendungen realistische Szenen und Animationen zu erzeugen. Üblicherweise erfolgt die flächendeckende Bereitstellung von Stadtmodellen auf der Grundlage von luftgestützten Sensoren. Eine Verfeinerung dieser Modelle ist daher vor allem dann notwendig, wenn wirklichkeitsnahe Visualisierungen aus der Perspektive eines Fußgängers angestrebt werden. Von Interesse sind hierbei insbesondere Algorithmen, die eine vollautomatische Rekonstruktion von unterschiedlich detaillierten Fassaden erlauben. Unser Ansatz verwendet terrestrische LIDAR-Daten und Fassadenbilder, um die Qualität und den Detailgrad der 3D-Gebäude zu erhöhen. Die bestehenden 3D-Modelle liefern dabei eine Vorinformation, die sowohl in die Georeferenzierung der terrestrischen Daten als auch in die nachfolgende geometrische Verfeinerung integriert werden kann. Nach der Koregistrierung aller Datensätze werden zunächst Fensterstrukturen aus den LIDAR-Punktwolken näherungsweise extrahiert. Diese werden anschließend durch zusätzliche 3D-Kanten, welche aus den Fassadenbildern abgeleitet werden, weiter verfeinert. Innerhalb des Modellierungsprozesses werden die 3D-Objekte mittels Zellzerlegung repräsentiert, welche für die Gebäuderekonstruktion in verschiedenen Maßstäben effizient genutzt werden kann.

1 Introduction

The area covering collection of urban models is usually based on the evaluation of aerial data like stereo images or LIDAR. By these means, 3D building representations become available which are sufficient for applications like simulations and visualisations at small or medium scale. However, for large scale applications like the generation of very realistic visualisations from pedestrian viewpoints, the quality and amount of detail for urban models from aerial data has to be improved. As an example, due to the viewpoint restrictions of airborne platforms, detailed information for the facades of the buildings frequently is not available. To improve the visual appearance of the buildings, terrestrial images are often mapped against the facades. However, this substitution of geometric modelling by real world imagery is only feasible to a certain degree. For instance, protrusions at balconies and ledges, or indentations at windows will disturb the visual impression of oblique views. Thus, geometric refinement is still necessary for a number of applications.

Within this paper, the geometric modelling of building facades is demonstrated exemplarily for the extraction of window objects. For this purpose, both terrestrial laser scanning and image measurement are used. Images provide high resolution information and can be collected at little effort. On the other hand, densely sampled point clouds from terrestrial laser scanning usually show depth displacements between elements like windows and walls and can therefore efficiently support their segmentation. Thus, an image based approach like it is for example presented by (MAYER & REZNIK 2006) considerably profits from the additional availability of terrestrial laser scanning. An integrated collection of images and 3D point clouds is feasible by mobile systems, where a laser scanner and a camera are mounted on a car. Such a system was for example applied by (FRÜH & ZAKHOR 2003) to generate textured meshes for visual representation of building facades. In contrast, we use standard equip-

ment consisting of a digital camera and a terrestrial laser scanner. In our scenario, the camera is not directly integrated with the laser scanning system. Independent camera stations allow for a flexible data collection, however, the automatic co-registration of the collected range and image data sets which is required as first processing step can become labour intensive. Additionally, complex areas like urban environments can only be completely covered by terrestrial laser scanning if data is collected from different viewpoints. Standard approaches align these scans from different viewpoints based on tie and control point information, which has to be measured at specially designed targets.

In contrast, our approach aims on the fully automatic georeferencing for the collected LIDAR and image data. As discussed in Section 2, this data preparation is facilitated by closely integrating existing building models. First, the LIDAR data is georeferenced by matching the point clouds from terrestrial laser scanning against the corresponding faces of the given 3D building model. In a second step, the reflectivity images, which are also provided during laser scanning, are used to link the camera images against the point cloud by a suitable feature extraction and matching process. Existing building models as they are provided from airborne measurements are also used during the modelling process, which is described in Section 3. This allows for a geometric enrichment of building facades while avoiding a data collection from scratch. In contrast to approaches using grammar based facade descriptions, which are more likely to focus on semantic modelling and interpretation (BRENNER & RIPPERDA 2006, ALEGRE & DALLAERT 2004), we aim at a more data driven approach. Within our process, cell decomposition is used in order to integrate window objects to the existing coarse building model. This type of modelling simplifies the problems to generate topologically correct boundary representations while fulfilling geometric constraints such as meeting surfaces, parallelism and rectangularity. Within our two-step reconstruction ap-

proach, the windows and doors are modelled from the terrestrial LIDAR data, while the window frames are further refined by photogrammetric analysis of the images in a subsequent step.

2 Data preparation and alignment

We applied our reconstruction approach to a data set which was acquired on the Schillerplatz, Stuttgart. It consists of a 3D point cloud obtained by a terrestrial laser scanner (Leica HDS 3000), image data from a calibrated camera (NIKON D2x Lens NIKKOR 20 mm, producing 4288 by 2848 pixel images) and a 3D city model from the City Surveying Office of Stuttgart. The Leica HDS 3000 laser scanner is based on a pulsed laser operating at a wavelength of 532 nm. Besides range measurements also the backscattered energy of the emitted signal is recorded for each sample point. These intensity values will be used within the georeferencing of the image data, which will be discussed in Section 2.2.2. In contrast to mobile mapping systems like the StreetMapper (KREMER & HUNTER 2007) featuring high quality GPS/IMU systems for direct georeferencing, we limit ourselves to a low-cost system, which only allows for a coarse alignment of the different laser scans. However, as discussed in Section 2.1, a fully automatic registration and precise georeferencing can be realised by matching the collected 3D point clouds against the corresponding faces of the given 3D building model from the existing city model (BÖHM & HAALA 2005).

After georeferencing the laser scans, the independently captured images have to be aligned to these 3D point clouds by an automatic co-registration. In general, the automatic orientation of terrestrial images considerably benefits from the recent availability of feature operators, which are almost invariant against perspective distortions. One example is the affine invariant key point operator proposed by (LOWE 2004). It extracts points and suitable descriptions for the following matching, which is based on histograms of gradient directions. By these

means, robust automatic tie point measurement is feasible even for larger baselines. As described in Section 2.2, in our application, this operator is used to align both the terrestrial images and the terrestrial LIDAR data. For this purpose, the feature extraction and matching is realised based on the reflectivity images that are usually provided from the laser scanner.

2.1 Georeferencing of LIDAR data

During collection of the 3D point clouds, a low-cost GPS and a digital compass were mounted on top of our HDS 3000 scanner. Thus, the position and orientation of the scanner can be measured to allow for a direct georeferencing of the different scans. This approximate solution was then refined by an automatic registration of the laser scans against available 3D building models, which are used as reference data for the refinement of the georeferencing process. For this purpose, the standard iterative closest point algorithm introduced by (BESL & MCKAY 1992) is applied.

Fig. 1 depicts our 3D city model and the collected 3D point cloud after the alignment process. The quality and amount of detail of this 3D building data set is typical for 3D models, like they are available area covering for a number of cities. Our exemplary 3D city model, which is maintained by the City Surveying Office of Stuttgart, features roof faces collected semi-automatically by photogrammetric stereo measurement. In contrast, the outlines of the buildings were captured by terrestrial surveying. Thus, the horizontal position accuracy of facade segments, which were generated by extrusion of this ground plan, is relatively high, despite the fact that they are limited to planar polygons.

After the alignment step, the 3D point cloud and the 3D city model are available in a common reference system. Thus, relevant 3D point measurements can be selected for each building facade by a simple buffer operation. These 3D points are then transformed to a local coordinate system as defined by the facade plane. Fig. 2 shows the

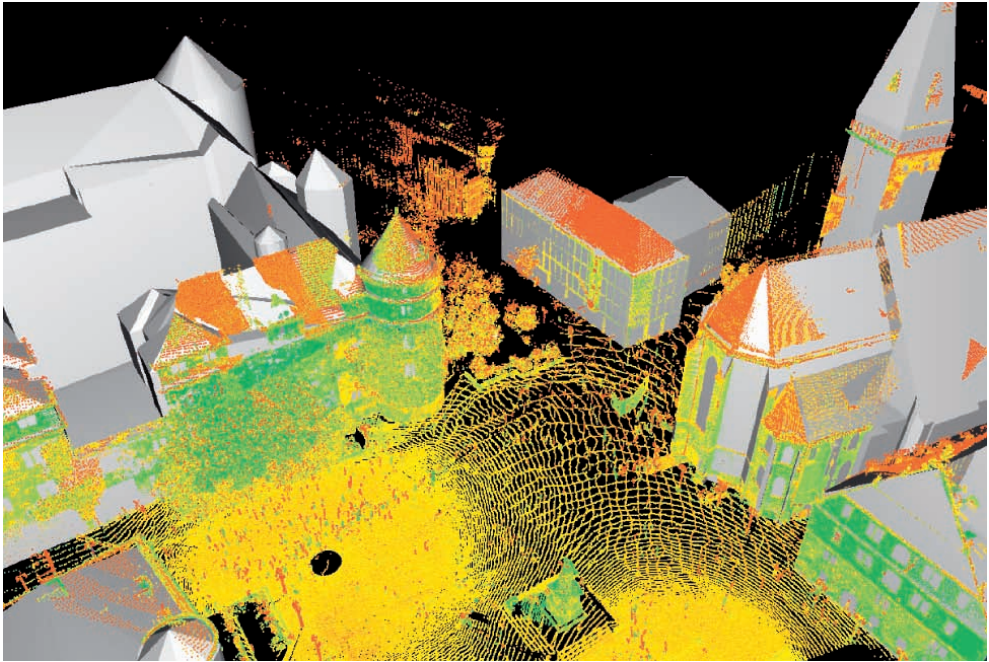


Fig. 1: 3D point cloud from laser scanning aligned with virtual city model.



Fig. 2: 3D point cloud as used for the geometric refinement of the corresponding building facade.

resulting point cloud, which has an approximate spacing of 4 cm.

Since the LIDAR measurements are more accurate than the available 3D building model, the final reference plane is determined from the 3D points by a robust estimation process. After mapping of the 3D points to this reference plane, further processing can be simplified to a 2.5D problem. As an example, while assuming that the refined geometry of the facade can be described sufficiently by a relief, the differences between the measured 3D laser points and the given facade polygon can be interpolated to a regular grid.

2.2 Alignment of image data

In order to integrate image data into the facade reconstruction, the images have to be oriented against each other and registered according to the already georeferenced laser point cloud in a following step. Image orientation is usually performed by means of a bundle block adjustment, which accurately estimates the orientation parameters. While tie points are necessary for connecting the images, control point information is needed for the georeferencing. Aiming at a fully automatic reconstruction process, both tie points and control points are to be derived automatically.

In our approach, first, a bundle block adjustment based on the matched key points between the digital images is implemented. The resulting photogrammetric network is then transferred to object space by additional tie points which link the digital images and the georeferenced terrestrial laser scan data. For this purpose, the feature extraction and matching is also realised using the reflectivity images as they are provided from the laser scanner. These reflectivity images are usually measured in addition to the runtime of the respective laser pulses during scanning. Since they represent the backscattered energy of the respective laser footprints, these intensities are exactly co-registered to the 3D point measurements. Despite the differences between these reflectivity images and the images captured by a stand-

ard digital camera with respect to spectral band width, resolution and imaging geometry they can be matched against each other automatically by LOWE's key point operator (LOWE 2004).

2.2.1 Image to image registration

Image to image registration based on tie points is a prerequisite step for photogrammetric 3D modelling. In the recent past, much effort has been made to develop approaches that automatically extract such tie points from images of different types (short, long, and wide baseline images) (REMONDINO & RESSL 2006). While matching procedures based on cross-correlation are well suited for short baseline configurations, images with a more significant baseline are typically matched by means of interest points. However, these techniques would fail in case of wide baseline images acquired from considerably different viewpoints. The reason is large perspective effects that are caused by the large camera displacement. Points and corners cannot be reliably matched. Therefore, interest point operators have to be replaced by region detectors and descriptors. As an example, the LOWE operator (LOWE 2004) has been proved to be a robust algorithm for wide baseline matching (MIKOLAJCZYK & SCHMID 2003).

Fig. 3 shows images from a calibrated camera (NIKON D2x Lens NIKKOR 20 mm). For the automatic provision of tie points the SIFT (scale invariant feature transform) operator has been applied to extract and match key points. Wrong matches were removed by a RANSAC based estimation (FISCHLER & BOLLES 1981) of the epipolar geometry using NISTER's five point algorithm (NISTER 2004). Finally, the image orientations were determined from 2079 automatically extracted tie points.

2.2.2 Image georeferencing

The provision of control point information, which is necessary for the determination of the orientation parameters, typically involves manual effort if no specially designed



Fig. 3: Image data for photogrammetric modelling.

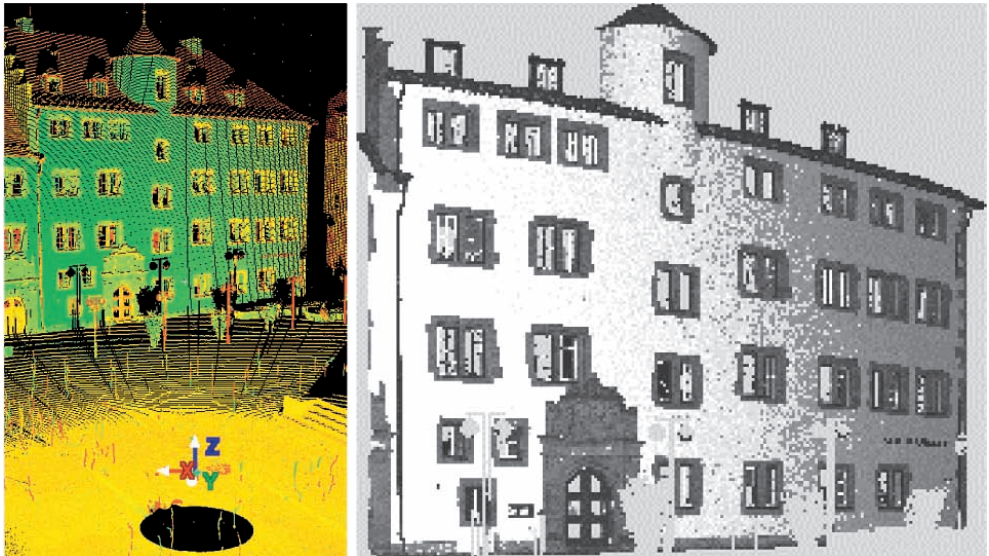


Fig. 4: Measured laser reflectivities as 3D point cloud (left) and 2D image representation (right).

targets are used. The reason is that object points with known 3D coordinates have to be manually identified in the images by a human operator. The idea to automate this process is linking the images to the georeferenced LIDAR data by a matching process (BÖHM & BECKER 2007) which is similar to the automatic tie point matching as described in Section 2.2.1.

Common terrestrial laser scanners sample object surfaces in an approximately regular polar raster. Each sample provides 3D coordinates and an intensity value representing

the reflectivity of the respective surface point. Based on the topological information inherent in data acquisition, the measured reflectivity data can be depicted in the form of an image. This allows for the application of image processing tools to connect the images captured by the photo camera to the LIDAR data.

Fig. 4 (left) shows the laser point cloud of an already georeferenced scan. The image representation derived from the reflectivity values is given in Fig. 4 (right). Each pixel with a valid laser reflectivity value refers to

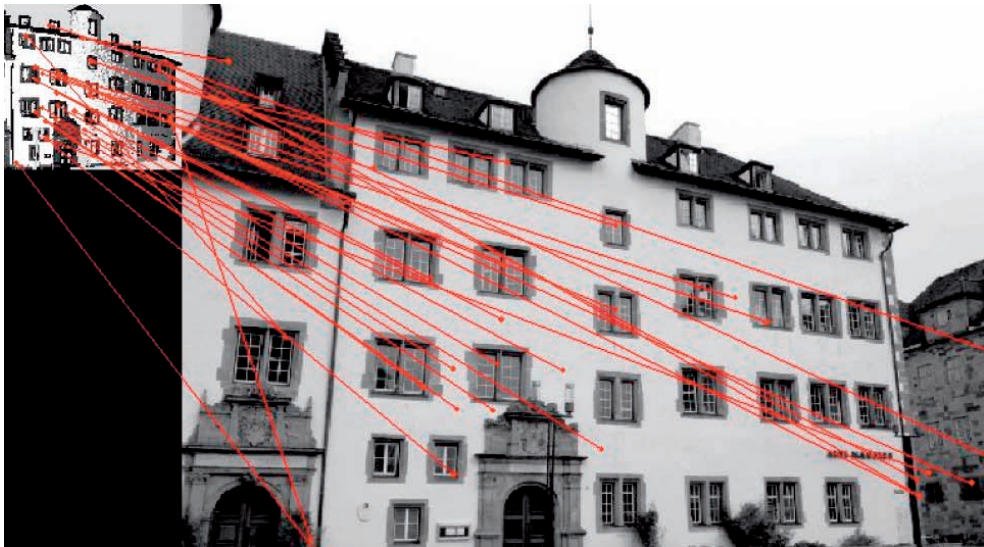


Fig. 5: Key point correspondences for the laser reflectivity image (left) and one of the photographs (right).

the 3D coordinates of the related sample point. Thus, obtained point correspondences between the laser image and the photos provide control point information which is necessary for the determination of the photos' orientation parameters.

However, images generated from laser reflectivities considerably differ from images that have been captured by standard digital photo cameras. This is due to differences in the imaging geometry, the sampling distance and the spectral band width of the measured reflectivities. For these reasons, the determination of point correspondences between a laser reflectivity image and a photograph requires an algorithm which is insensitive to changes in illumination and scale and uses region descriptors instead of edge detectors. Fig. 5 depicts the laser reflectivity image (left) and one of the photographs captured by the NIKON camera (right) in real proportions. In order to have similar intensity values in both images, only the green channel of the photograph has been considered for the determination of corresponding points. The resulting key points were extracted and matched by means of the SIFT implementation provided by (VEDALDI

2007). Using default settings 492 key points are detected in the laser reflectivity image and 5519 in the photograph. Of those 31 are matched to corresponding key points represented by the red dots and lines in Fig. 5.

In a next step, wrong matches are to be removed by a RANSAC based computation of a closed form space resection (ZENG & WANG 1992). For this purpose, the SIFT point correspondences are used as control point information. The accuracy of the resulting orientation parameters strongly depends on the configuration of the SIFT point correspondences. If the points are close together, the solution of the space resection becomes unstable and the uncertainty of the SIFT point coordinates (REMONDINO & RESSL 2006) leads to significant variations in the orientation parameters. However, when given a sufficient number of well-distributed points, the obtained orientation parameters will be accurate enough to serve as approximate values for a final bundle adjustment, allowing for a fully automatic orientation process. For our data set, the average standard errors of the finally estimated orientation parameters are $\sigma_x = 7.6$ cm, $\sigma_y = 5.6$ cm, $\sigma_z = 8.1$ cm, $\sigma_{az} =$

0.167° , $\sigma_{el} = 0.164^\circ$, $\sigma_{roll} = 0.066^\circ$. The average precision of the computed object coordinates is $\sigma_x = 3.3$ cm, $\sigma_y = 4.7$ cm, $\sigma_z = 2.1$ cm.

3 Facade Reconstruction

Based on georeferenced terrestrial LIDAR and image data, the existing coarse building model can be geometrically refined by the integration of window objects. Usually, tools for the generation of polyhedral building models are either based on a constructive solid geometry (CSG) or a boundary representation (B-Rep) approach. In Section 3.1, the pros and cons of both techniques will be discussed briefly. This will motivate our new approach for facade reconstruction, which is based on cell decomposition as an alternative form of solid modelling. Afterwards, our two-step approach for facade reconstruction will be presented in Section 3.2 and 3.3. While in the first step windows and doors are modelled from the LIDAR data (cf. Section 3.2), the window frames are further refined by photogrammetric analysis in the second step (cf. Section 3.3).

3.1 Cell decomposition versus CSG and B-Rep

Within B-Rep algorithms the surface boundaries of a solid are generated from measured points, lines or planes, leading directly to a boundary representation. For instance, if the reconstruction of a building facade is based on 3D point clouds from terrestrial laser scanning, state-of-the-art meshing techniques can be used to convert the point clouds to polygonal meshes. Depending on the density of the underlying point cloud, these approaches are suitable for the reconstruction of free-form objects such as complex protrusions, ornaments or the stonework. While such representations allow for good visualizations of the facade's relief (HAALA et al. 2006), an interpretation of the reconstructed model concerning different architectural structures is not supported. This is due to the fact that a dense polygon mesh does not distinguish between

meaningful entities, for example facade, window, balcony, etc. Furthermore, in consequence of limitations in point sampling distance and accuracy of LIDAR sensors, special characteristics of man-made objects such as right angles, parallel lines or coplanar faces are not maintained during the modelling process. In order to make the reconstruction result more robust against error-prone data, a number of building reconstruction approaches first extract planar regions from the point cloud which are then intersected to generate polyhedral building structures. However, the combination of these segments to generate topological correct boundary representations is difficult to implement (ROTTENSTEINER 2001). This task is additionally aggravated if geometric constraints such as meeting surfaces, parallelism and rectangularity have to be guaranteed for respective segments.

Such regularization conditions can be met easier when object representations based on CSG are used (BRENNER 2004). CSG based techniques combine simple primitives by means of regularized Boolean set operators, allowing for a powerful and intuitive modelling (MÄNTYLÄ 1988). CSG representations are also always valid since the simple primitives are topologically correct and this correctness is preserved during their combination by the Boolean operations. Additionally, the implicit geometric constraints of these primitives like parallel or normal faces of a box type object make the parameter estimation quite robust. This is especially important for reconstructions based on error-prone measurements. However, while CSG is widely used in computer aided design, most visualization and simulation applications require the additional derivation of a boundary representation. While this so-called boundary evaluation is not difficult conceptually, its correct and efficient implementation can be complicated. Error-prone measurements, problems of numerical precision and unstable calculation of intersections can considerably hinder the robust generation of a valid object topology.

The application of cell decomposition can help to facilitate these problems. Cell de-

composition is a special type of decomposition models, which subdivides the 3D space into relatively simple solids. Similar to CSG, these spatial-partitioning representations describe complex solids by a combination of simple, basic objects in a bottom up fashion. In contrast to CSG, decomposition models are limited to adjoining primitives, which must not intersect. The basic primitives are thus 'glued' together, which can be interpreted as a restricted form of a spatial union operation. The simplest type of spatial-partitioning representations is exhaustive enumeration. There the object space is subdivided by non overlapping cubes of uniform size and orientation. In this sense, cell decomposition is similar to a spatial occupancy enumeration, where the object space is subdivided by non overlapping cubes of uniform size and orientation. Nevertheless, cell decompositions are based on a variety of basic cells, which may be any objects that are topologically equivalent to a sphere i.e. do not contain holes. This allows for a simplified combination of the respective elements, while the disadvantages of exhaustive enumeration like large memory consumption and the restricted accuracy of the object representation can be avoided.

In solid modelling, cell decomposition is mainly used as auxiliary representation for specific computations (MÄNTYLÄ 1988). However, it can also be efficiently applied to the automatic reconstruction of topologically correct building models at different levels of detail. This has already been proved for generalisation approaches (KADA 2007). But, as it will be demonstrated in the following sections, cell decomposition is also suitable to convert an existing coarse building model to a more detailed representation. Using appropriate partition planes for the cell generation, geometric constraints such as parallelism or rectangularity can be integrated very easily. Furthermore, constraints concerning neighboured cells can be treated in a simple manner, since the cell decomposition process implicates topology information for the generated cells.

3.2 Facade refinement by terrestrial LIDAR

The idea of the first part of our reconstruction algorithm is to segment a 3D object with a flat front face into 3D cells. Each 3D cell represents either a homogeneous part of the facade or a window area. Therefore, they have to be differentiated based on the availability of measured LIDAR points. After this classification step, window cells are eliminated while the remaining facade cells are glued together to generate the refined 3D building model. The difficulty is finding planar delimiters from the LIDAR points that generate a good working set of cells. Since our focus is on the reconstruction of the windows, the planar delimiters have to be derived from the 3D points that were measured at the window borders. These points are identified by a segmentation process.

3.2.1 Cell generation

As it is visible for the facade in Fig. 2, usually fewer 3D points are measured on the facade at window areas. This is due to specular reflections of the LIDAR pulses on the glass or points that refer to the inner part of the building and were therefore cut off in the pre-processing stage. If only the points are considered that lie on or in front of the facade, the windows will describe areas with no point measurements. Thus, our point cloud segmentation algorithm detects window edges by these no data areas. In principle, such holes can also result from occlusions. However, this is avoided by using point clouds from different viewpoints. In that case, occluding objects only reduce the number of LIDAR points since a number of measurements are still available from the other viewpoints.

During the segmentation process, four different types of window borders are distinguished: horizontal structures at the top and the bottom of the window, and two vertical structures that define the left and the right side. For instance, the edge points of a left window border are detected if no neighbour

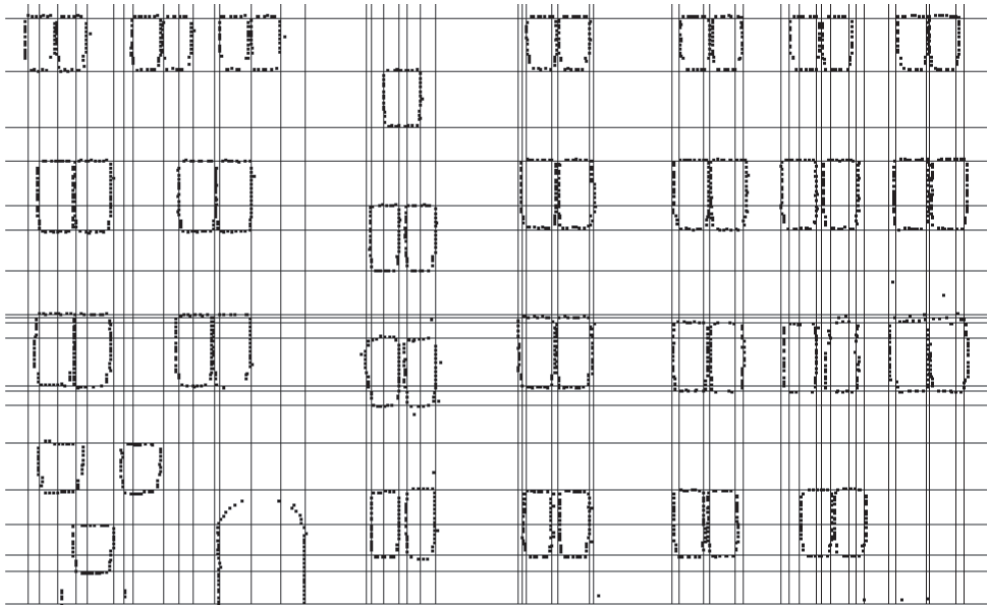


Fig. 6: Detected edge points and window lines.

measurements to their right side can be found in a pre-defined search radius at the facade plane. The search radius should be set to a value a little higher than the scan point distance on the facade. In a next step, horizontal and vertical lines are estimated from non-isolated edge points. Fig. 6 shows the extracted edge points at the window borders as well as the derived horizontal and vertical lines. Based on these window lines, planar delimiters can be generated for a subsequent spatial partitioning.

Each boundary line defines a partition plane, which is perpendicular to the building facade. For the determination of the window depth, an additional partition plane is estimated from the LIDAR points measured at the window crossbars. These points are detected by searching a plane parallel to the facade, which is shifted in its normal direction. The set of all partition planes provides the structural information for the cell decomposition process. Therefore, it is used to intersect the existing building model producing a set of small 3D cells.

3.2.2 Classification of 3D cells

In a next step, the generated 3D cells have to be classified into building and non-building fragments. For this purpose, a 'point-availability-map' is generated. It is a binary image with low resolution where each pixel defines a grid element on the facade. The optimal size of the grid elements is a value a little higher than the point sampling distance on the facade. Grid elements on the facade where LIDAR points are available produce black pixels (facade pixels), while white pixels (non-facade pixels) refer to no data areas. Of course, the already extracted edge points and the resulting structures in Fig. 6 are more accurate than the rasterized point-availability-map. However, this limited accuracy is acceptable since the binary image is only used to classify the 3D cells, which are already created from the detected horizontal and vertical window lines. The classification is implemented by computing the ratio of facade to non-facade pixels for each generated 3D cell. Cells including more than 70 % facade pixels are defined as facade solids, whereas 3D cells

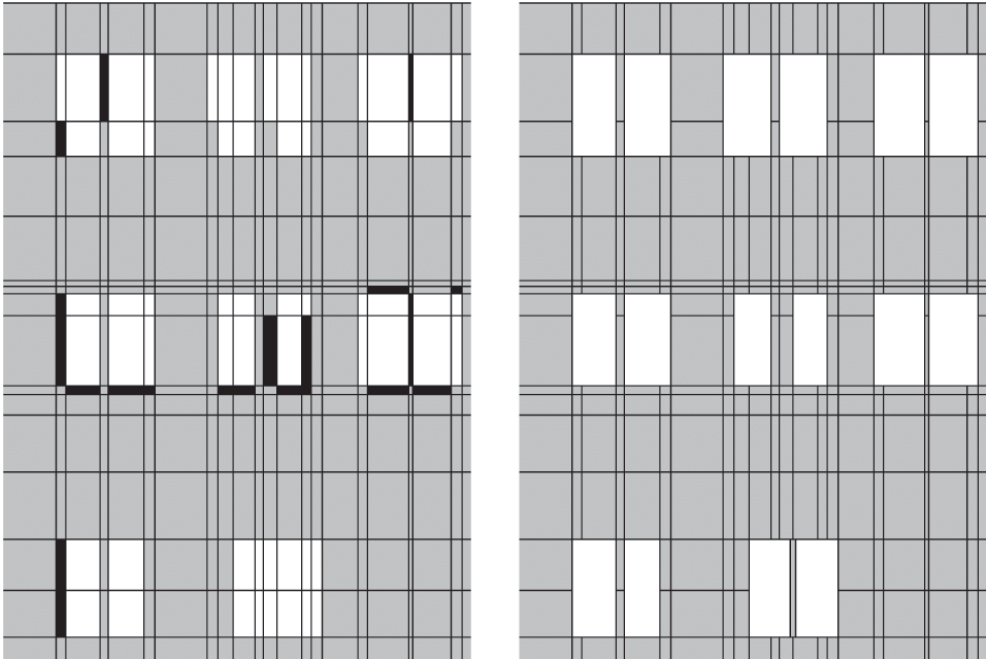


Fig. 7: Classification of 3D cells before (left) and after enhancement (right).

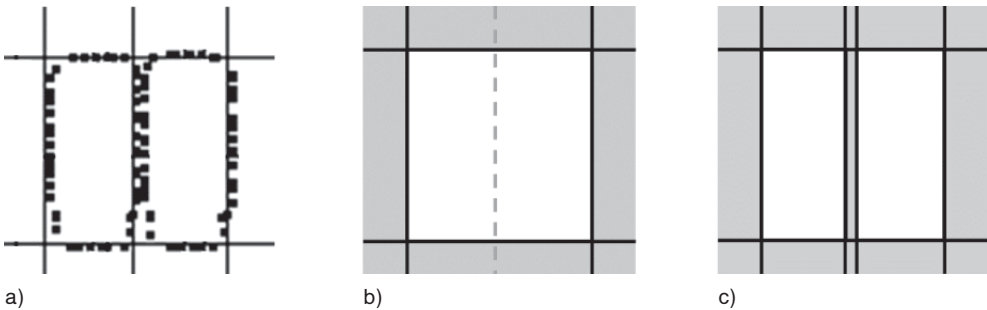


Fig. 8: Integration of an additional facade cell.

with less than 10 % facade pixels are assumed to be window solids. In the left of Fig. 7 these segments are depicted as grey (facade) and white (window) cells.

While most of the 3D cells can be classified reliably, the result is uncertain especially at window borders or in areas with little point coverage. Such cells with a relative coverage between 10 % and 70 % are represented by the black segments in the left of Fig. 7. For the final classification of these cells, neighbourhood relationships as well as constraints concerning the simplicity of the

resulting window objects are used. As an example, elements between two window cells are assumed to belong to the facade, so two small windows are reconstructed instead of one large window. This is justified by the fact that facade points have actually been measured in this area. Additionally, the alignment as well as the size of proximate windows is ensured. For this purpose, uncertain cells are classified depending on their neighbours in horizontal and vertical direction. Within this process, it is also guaranteed that the merge of window cells will re-

sult in convex window objects. Fig. 7 (right) illustrates the enhanced classification result.

As it is depicted in Fig. 8, additional facade cells can be integrated easily if necessary. Fig. 8a shows the LIDAR measurements for two closely neighboured windows. Since in this situation only one vertical line was detected, a single window is reconstructed (cf. Fig. 8b). To overcome this problem, the window object is separated into two smaller cells by an additional facade cell. This configuration is kept if facade points are available at this position (cf. Fig. 8c).

3.2.3 Facade modelling

Within the following modelling process, the window cells are cut out from the existing coarse building model. The result of the building facade reconstruction is given in Fig. 9. The front of the pyramidal wall dormer is not considered as being a part of the facade. Therefore, the reconstruction approach is applied on the roof extension, separately.

While the windows are represented by polyhedral cells, also curved primitives can be integrated in the reconstruction process. This is demonstrated exemplarily by the round-headed door of the building. Furthermore, our approach is not limited to the

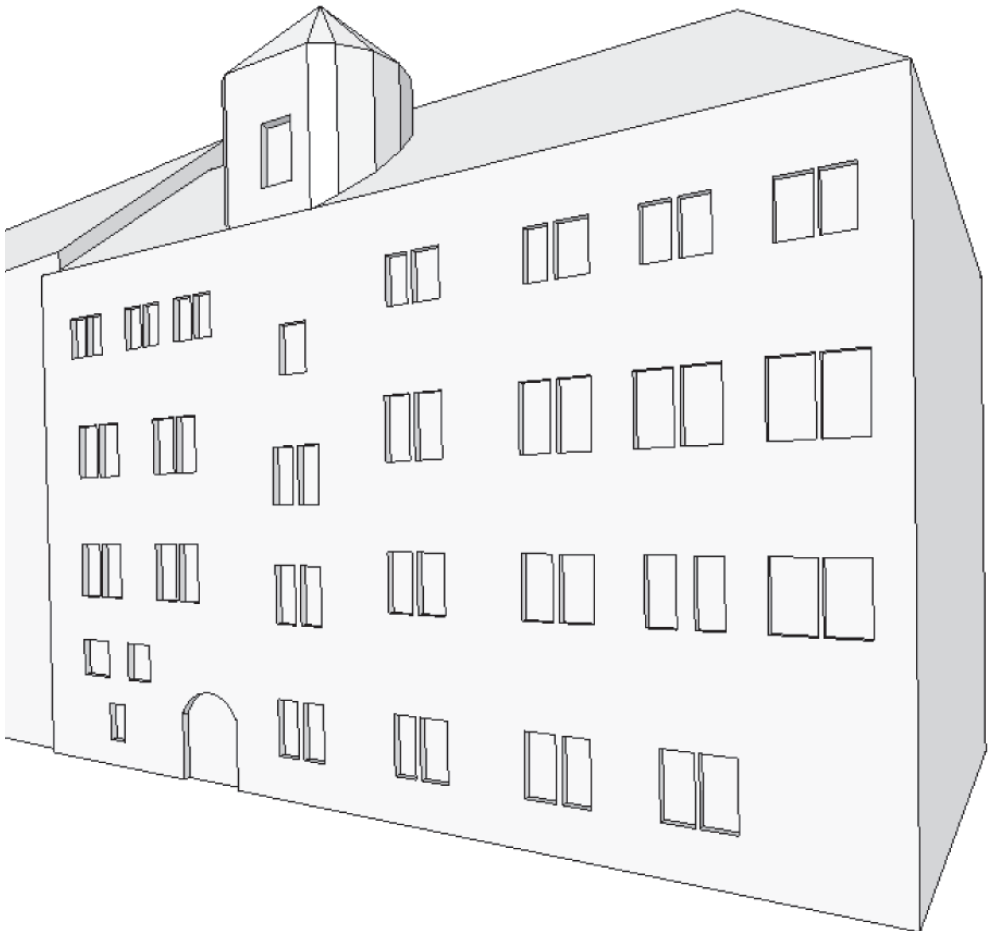


Fig. 9: Refined facade of the reconstructed building.

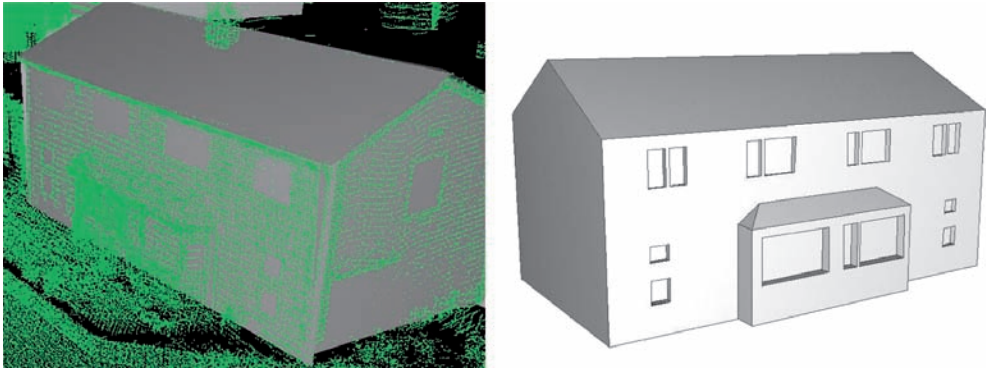


Fig. 10: Point cloud with coarse building model (left) and refined building model after recursive facade reconstruction (right).

modelling of indentations like windows or doors.

As it is visible in Fig. 10, details can also be added as protrusions to the facade. Fig. 10 (left) shows the available 3D point cloud (courtesy of School of Civil Engineering and Geosciences, Newcastle University, UK) as well as the automatically generated coarse building model. Based on this information, LIDAR points that are measured at protrusions can be detected easily since they are not part of the facade plane but lying in front of it. If these points are classified as non-facade points, protrusion areas can be identified in the same way as window regions, just by searching for data areas within the set of points that belong to the facade. The availability of LIDAR points in front of the facade helps to classify the derived 3D cells as protrusion cells. Their extent in the facade's normal direction can be reconstructed by fitting planes to the measured protrusion points. In order to detect further structures within the protrusion, the whole reconstruction algorithm can be applied recursively. The final result of this process is depicted in Fig. 10 (right). It features indentations as well as a protrusion with recursively modelled windows.

3.3 Facade refinement by photos

The level of detail for 3D objects that are derived from terrestrial laser scanning is li-

imited depending on the point sampling distance. Small structures are either difficult to detect or even not represented in the data. By integrating image data in the reconstruction process the amount of detail can be increased.

3.3.1 Derivation of 3D edges

Having oriented the image data, 3D information can be derived from corresponding image features in order to reconstruct details of the facade such as crossbars. For this purpose, edge points are extracted from the images by a Sobel filter. These edge point candidates are thinned and split into straight segments. Afterwards, the resulting 2D edges of both images have to be matched. However, frequently occurring facade structures, such as windows and crossbars, hinder the search for corresponding edges. Therefore, the boundaries of the windows that have already been reconstructed from the LIDAR points are projected into both images. Only the 2D edges lying inside these image regions are considered for the following matching process. Fig. 11 depicts the selected 2D edges for an exemplary window in both images. Thus, possible mismatches are reduced, even though, they cannot be avoided entirely. Remaining false correspondences lead to 3D edges lying outside the reconstructed window. Therefore, these wrong edges can be easily identified and re-



Fig. 11: Selected 2D edges for a window in both images.

moved. In addition, only horizontal and vertical 3D edges are considered for the further reconstruction.

3.3.2 Reconstruction of additional facade structures

Photogrammetric modelling allows the extraction of well-defined image features like edges and points with high accuracy. By contrast, points from terrestrial laser scanning are measured in a pre-defined sampling pattern, unaware of the scene to capture. That means that the laser scanner does not explicitly capture edge lines, but rather measures points at constant intervals. Furthermore, laser measurements at edges and corners may provide erroneous and unpredictable results because of the laser beam split that is caused at the object border. For these reasons, the positional accuracy of window borders that are reconstructed from LIDAR points is limited compared to the photogrammetrically derived 3D edges at crossbars. As a consequence, the 3D reconstructions from laser points and images may be slightly shifted. Therefore, the reconstruction of the crossbars is done as follows:

For each window, hypotheses about the configuration of the crossbars are generated and tested against the 3D edges derived

from the images. Possible shapes are dynamically generated as templates by recursively dividing the window area in two or three parts. Recursion stops when the produced glass panes are too small for a realistic generation of windows. The minimum width and height of the glass panes are restricted by the same threshold value. After each recursion step, the fitting of the template with the 3D edges is evaluated. The partition is

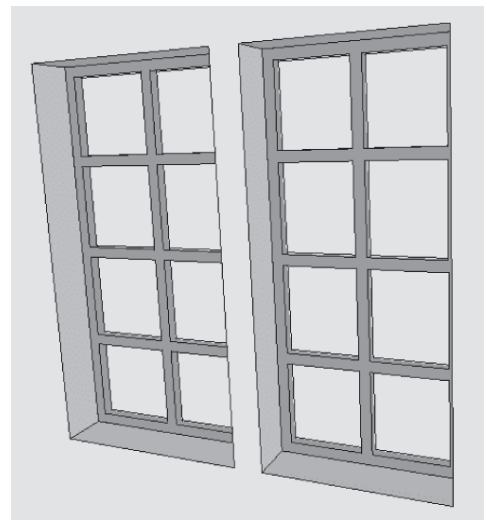


Fig. 12: Reconstructed crossbars for two windows.

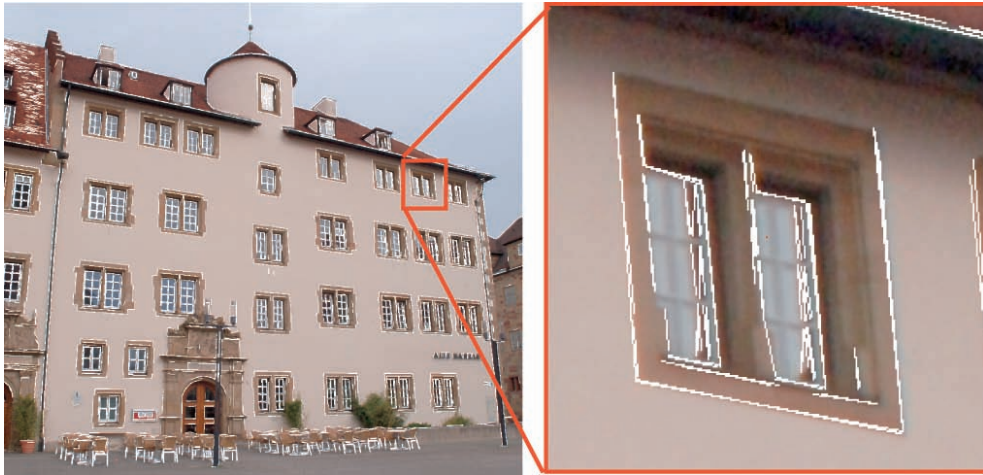


Fig. 13: Detected 2D edges for a window captured under an oblique view.

accepted if 3D edges are available within a buffer area around the dividing line. In a final step, the crossbars and the window frame are modelled. For this purpose, new 3D cells with a pre-defined thickness are generated at the accepted horizontal and vertical division lines as well as at the window borders. The result is exemplarily shown for two windows in Fig. 12.

While most of the crossbars can be reconstructed reliably, problems may arise for windows that are captured under oblique views. Perspective distortions or occlusions make it difficult to detect 2D edges at crossbars (cf. Fig. 13). Consequently, fewer 3D edges can be generated thereof in those areas.

To overcome this problem, neighbourhood relationships are taken into account within the final modelling step. The crossbar configuration is assumed to be equal for all windows of similar size which are located in the same row or column. Based on this assumption, similar windows can be simultaneously processed. Thus, the crossbar reconstruction leads to robust results even for windows that are partially distorted or feature strong perspective distortions in the respective image areas.

Fig. 14 shows the final result of the building facade reconstruction from terrestrial

LIDAR and photogrammetric modelling. This example demonstrates the successful detection of crossbars for windows of medium size. However, the dynamic generation of templates even allows for the modelling of large window areas as they often occur at facades of big office buildings.

4 Conclusions

Within the paper, an approach for the refinement of 3D building models was presented. For this purpose, both 3D point clouds from terrestrial laser scanning and image data are applied. Terrestrial LIDAR can be reliably used to reconstruct larger building parts, for example window areas and protrusions. Smaller structures such as window crossbars, which are frequently not available from LIDAR due to the limited point sampling distance, are extracted from images. For the alignment of the LIDAR data and the images acquired from independent camera stations, a marker-free, fully automatic method was proposed.

Our model refinement approach primarily aims at the reconstruction of indentations such as windows and doors. However, as we could show, the algorithm also allows for the modelling of protrusions such as balconies or oriels. The simple integration of

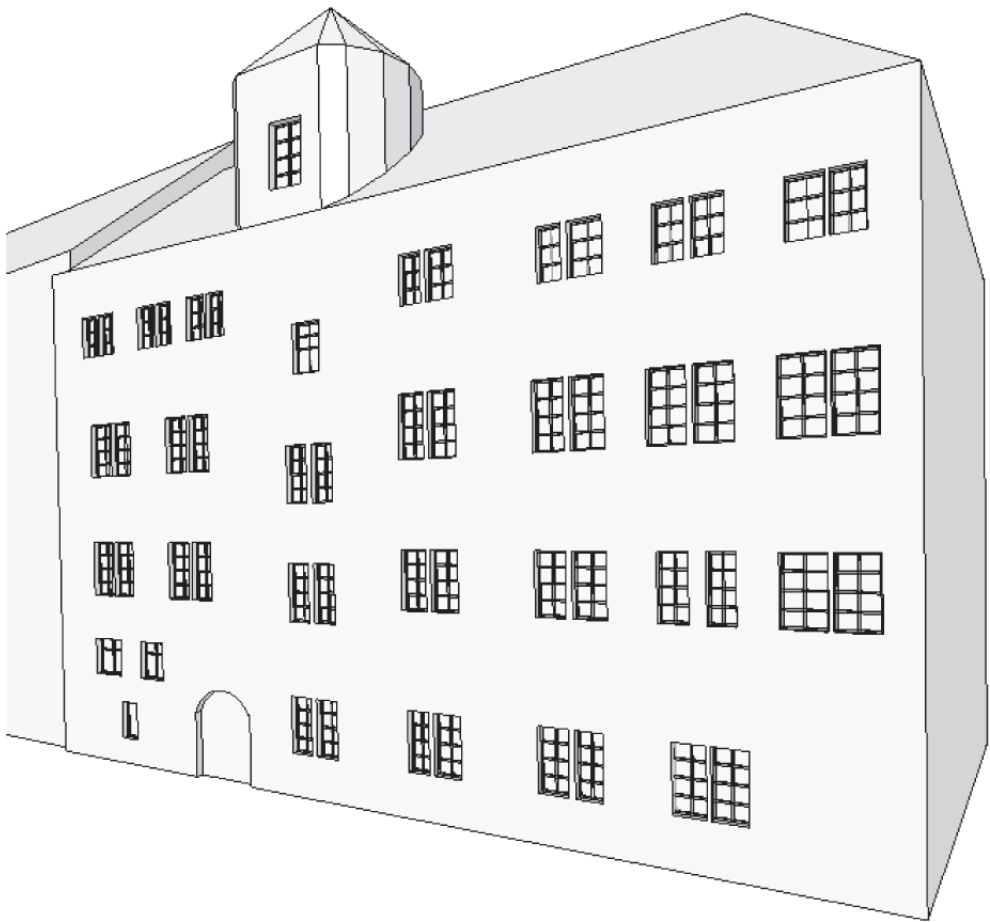


Fig. 14: Refined facade with detailed window structures.

geometric detail is based on the building representation by cell decomposition. Using this modelling technique, topologically correct building models can be automatically created at different levels of detail. Furthermore, as a consequence of the cell generation process, symmetry relations like coplanarity or alignment are guaranteed even for larger distances between the respective building parts. Thus, despite of the limited extent of the window primitives, which were extracted by the analysis of terrestrial LIDAR and images, structural information can be generated for the complete building. In future work, this information will be used to support the facade interpretation at areas where measurements are only available with

reduced quality and reliability. For these reasons, in our opinion, this approach has a great potential for processes aiming at the reconstruction and refinement of building models from multiple data sets.

References

- ALEGRE, F. & DALLAERT, F., 2004: A Probabilistic Approach to the Semantic Interpretation of Building Facades. – Workshop on Vision Techniques Applied to the Rehabilitation of City Centres: 1–12.
- BESL, P. J. & MCKAY, N., 1992: A method for Registration of 3-D Shapes. – IEEE PAMI **14** (2): 239–256.
- BÖHM, J. & BECKER, S., 2007: Automatic marker-free registration of terrestrial laser scans using

- reflectance features. – Optical 3D Measurement Techniques, Zurich, Switzerland: 338–344.
- BÖHM, J. & HAALA, N., 2005: Efficient Integration of Aerial and Terrestrial Laser Data for Virtual City Modeling Using LASERMAPS. – IAPRSIS **36** (3/W19): 192–197.
- BRENNER, C., 2004: Modelling 3D Objects Using Weak CSG Primitives. – IAPRSIS **35**.
- BRENNER, C. & RIPPERDA, N., 2006: Extraction of Facades Using RjMCMC and Constraint Equations. – IAPRSIS **36** (3).
- FISCHLER, M.A. & BOLLES, R.C., 1981: Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography. – Communications of the ACM **24**: 381–395.
- FRÜH, C. & ZAKHOR, A., 2003: Constructing 3D City Models by Merging Ground-Based and Airborne Views. – IEEE Computer Graphics and Applications, Special Issue Nov/Dec.
- HAALA, N., KADA, M., BECKER, S., BÖHM, J. & ALSHAWABKEH, Y., 2006: Graphic Tools for the Generation of Large Scale Urban Scenes. – IAPRSIS **36** (4).
- KADA, M., 2007: Scale-Dependent Simplification of 3D Building Models Based on Cell Decomposition and Primitive Instancing. – International Conference on Spatial Information Theory: COSIT '07, Melbourne, Australia.
- KREMER, J. & HUNTER, G., 2007: Performance of the StreetMapper Mobile LIDAR Mapping System in “Real World” Projects. – Photogrammetric Week '07, Wichmann, Heidelberg: 215–225.
- LOWE, D., 2004: Distinctive image features from scale-invariant keypoints. – IJCV **60** (2): 91–110.
- MÄNTYLÄ, M., 1988: An Introduction to Solid Modeling. – Computer Science Press, Maryland, USA.
- MAYER, H. & REZNIK, S., 2006: MCMC Linked With Implicit Shape Models and Plane Sweeping for 3D Building Facade Interpretation in Image Sequences. – IAPRSIS **36** (3).
- MIKOLAJCZYK, K. & SCHMID, C., 2003: A performance evaluation of local descriptors. – Computer Vision and Pattern Recognition: 257–264.
- NISTÉR, D., 2004: An efficient solution to the five-point relative pose problem. – IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence **26** (6): 756–770.
- REMONDINO, F. & RESSL, C., 2006: Overview and experiences in automated markerless image orientation. – IAPRSSIS **36** (3): 248–254.
- ROTTENSTEINER, F., 2001: Semi-automatic extraction of buildings based on hybrid adjustment using 3D surface models and management of building data in a TIS. – PhD. thesis TU Wien.
- VEDALDI, A., 2007: An Implementation of the Scale Invariant Feature Transform. – UCLA CSD Tech. Report N. 070012.
- ZENG, Z. & WANG, X., 1992: A general solution of a closed-form space resection. – PE&RS **58** (3): 327–338.

Addresses of the Authors:

Dipl.-Ing. SUSANNE BECKER, PD Dr.-Ing. habil. NORBERT HAALA, University of Stuttgart, Institute for Photogrammetry, D-70174 Stuttgart, Tel.: +49-711-686-84113, Fax: +49-711-685-83297, e-mail: susanne.becker@ifp.uni-stuttgart.de

Manuskript eingereicht: November 2007
Angenommen: Januar 2008

Grammar Based Facade Reconstruction using rjMCMC

NORA RIPPERDA, Hannover

Keywords: Facade modelling, grammar, Markov Chain Monte Carlo

Summary: These days 3D models are used in a huge variety of applications and the demands in quality and quantity are steadily growing. At the same time, the extraction of man-made objects from measurement data is quite traditional. Often, the processes are still point based, with the exception of a few systems which allow to automatically fit simple primitives to measurement data. The need to be able to automatically transform object representations, for example, in order to generalize their geometry, enforces a structurally rich object description. Likewise, the trend towards more and more detailed representations requires to exploit structurally repetitive and symmetric patterns present in man-made objects, in order to make extraction cost-effective. In this paper, we address the extraction of building facades in terms of a structural description. Our reconstruction is based on a formal grammar to derive a structural facade description in the form of a derivation tree and uses a stochastic process based on reversible jump Markov Chain Monte Carlo (rjMCMC) to guide the application of derivation steps during the construction of the tree.

Zusammenfassung: *Grammatik-basierte Fassadenrekonstruktion mittels rjMCMC.* 3D-Modelle werden heutzutage in vielen Anwendungen gebraucht und die Anforderungen an sie steigen ständig an. Gleichzeitig werden aber größtenteils noch die klassischen Extraktionsverfahren verwendet, die meist punktbasiert arbeiten. Für viele Anwendungen wird ein Modell in unterschiedlich detailreichen Darstellungen benötigt. Die hierzu hilfreiche automatische Transformation des Modells in verschiedene Darstellungen kann durch eine strukturelle Beschreibung des Objekts ermöglicht werden. Zusätzlich kann die Beschreibung von sich strukturell wiederholenden oder symmetrischen Mustern eine effektive Modellierung begünstigen. In diesem Artikel wird eine Methode zur automatischen Rekonstruktion von Fassaden aus Bild- und Entfernungsdaten vorgestellt. Das strukturelle Modell ist durch eine Fassaden-Grammatik gegeben und der Modellierungsprozess wird durch ein rjMCMC-Verfahren gesteuert.

1 Introduction

The extraction of man-made objects from sensor data has a long history in research (BALTSAVIAS 2004). Especially for the modelling of 3D buildings, numerous approaches have been reported, based on monoscopic, stereoscopic, multi-image, and laser scan techniques. While most of the effort has gone into sensor-specific extraction procedures, very little work has been done on the structural description of objects. Modelling structure though is very important for downstream usability of the data, es-

pecially for the automatic derivation of coarser levels of detail from detailed models.

Representing structure is not only important for the later usability of the derived data, but also as a means to support the extraction process itself. A fixed set of structural patterns allows to span a certain subspace of all possible object patterns, thus forms the model required to interpret the scene.

Grammars have been extensively used to model structures. For modelling plants, Lindenmayer systems were developed by PRUSINKIEWICZ & LINDENMAYER (1990). They have also been used for modelling

streets and buildings (PARISH & MÜLLER 2001, MARVIE et al. 2005). But Lindenmayer systems are not necessarily appropriate for modelling buildings. Buildings differ in structure from plants and streets, in that they don't grow in free space and modelling is more a partition of space than a growth-like process.

For this reason, other types of grammars have been proposed for architectural objects. STINY & GIPS (1972) introduced shape grammars which operate on shapes directly. The rules replace patterns at a point marked by a special symbol. MITCHELL (1990) describes how grammars are used in architecture. The derivation is usually done manually which is why the grammars are not readily applicable for automatic modelling tools.

ALEGRE & DALLAERT (2004) use a stochastic context free attribute grammar to reconstruct facades from image data by applying horizontal and vertical cuts. WONKA et al. (2003) developed a method for automatic modelling which allows reconstructing different kinds of buildings using one rule set. The approach is composed of a split grammar, a large set of rules which divide the building into parts, and a control grammar which guides the propagation and distribution of attributes. During construction, a stochastic process selects among all applicable rules. VAN GOOL et al. (2007) discuss different facade reconstruction algorithms and show the use of repetitions in the structure for the reconstruction with shape grammars.

Our aim is to extract facade elements from image and range data automatically. The facade model is defined by a grammar which comprise the structure of facades. Each grammar rule subdivides a part of the facade in smaller parts according to the layout of the facade. The derivation process is guided by a reversible jump Markov Chain Monte Carlo (rjMCMC) process.

DICK et al. (2004) introduce a method which generates building models from measured data, i.e. several images. This approach is also based on the rjMCMC method. In a stochastic process, 3D models

with semantic information are built. MAYER & REZNIK (2006) also use a MCMC method for the facade reconstruction from images.

The rjMCMC algorithm is used for other applications e.g. detection of road marks (TOURNAIRE et al. 2007) as well. In general rjMCMC is a top-down-approach, but TU (2005) integrated generative and discriminative methods and used a data driven MCMC (DDMCMC) for image parsing.

We also present a way to use information about the facade structure from the data. We derive distributions of facade attributes like the position of windows. These distributions are used for the rule proposal additionally to the general prior knowledge, which was used in our previous work on facade reconstruction (RIPPERDA & BRENNER 2006). The extra information from the data causes to evade the large number of wrong proposals which occur using only general prior knowledge on facades.

For the facade reconstruction we need a structural model that describes the facade. In the presented approach the model is given by a facade grammar. A derivation tree of a word of the grammar represents the model of a given facade.

A stochastic process, the rjMCMC process, guides the reconstruction process. Section 2 introduces the facade grammar and Section 3 gives an idea of the rjMCMC process and shows how to adapt it to the grammar.

2 The Facade Grammar

A formal grammar G consists of an alphabet of terminal T and nonterminal N symbols, a start symbol S and a set of production rules P . We use a context-free grammar, this means that P contains rules of the form $N \rightarrow (T \cup N)^+$. All words that can be derived from S with rules from P build the language $L(G)$ of the grammar G .

For facade reconstruction we define a grammar G_F which language $L(G_F)$ contains possible facades (for details see RIPPERDA & BRENNER 2006). In the derivation process the model of the facade should be developed further in each step. Therefore

each rule splits the part of the facade corresponding to the left side symbol in a variable number of facade parts corresponding to the right side symbols. So the derivation process is a partitioning process of the facade. The start symbol S is an empty facade. This is subdivided in further derivation steps.

A split can be caused by different reasons. The first is a difference in the facade structure. If a facade contains different structural parts it is split into part facades according to the structure and the parts are modelled individually. This change in structure often occurs in ground floor and upper floors.

The other reason for a split is similarity or repetition. If a facade is symmetric or contains repetitions the repeated pattern needs to be stored only once. Additional information like number of repetitions completes the model.

Fig. 1 illustrates an example of a facade reconstruction. Part a) shows the image of the facade and part b) a partitioning according to the facade grammar. The corresponding derivation tree c) and additional attributes build the reconstruction of the facade. The example contains splits of both kinds, based on similarities and based on differences. Similarities are arising in the symmetric part and in the arrays of windows. So for example the rules $SYMMETRIC-$

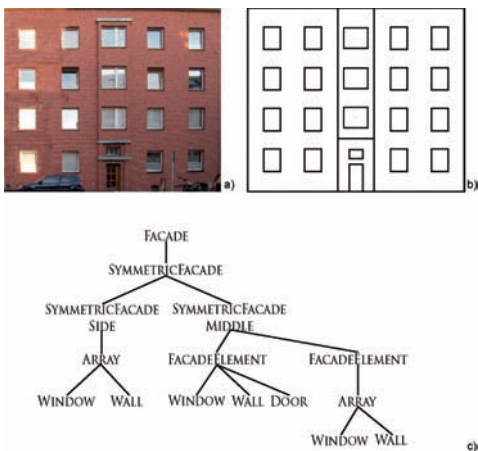


Fig. 1: Example facade (a) with a partition according to the facade grammar (b) and the corresponding derivation tree (c).

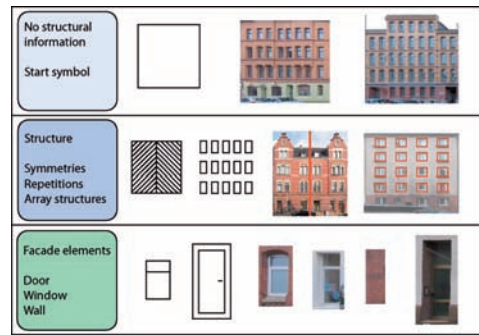


Fig. 2: Structure of the facade grammar.

$FAÇADESIDE \rightarrow ARRAY$ and $FAÇADEELEMENT \rightarrow Array$ are based on the repetitions of the facade elements. The rule $FAÇADE \rightarrow SYMMETRICFAÇADESIDE SYMMETRICFAÇADEMIDDLE$ contains a bit of both. The $SYMMETRICFAÇADESIDE$ is the similarity part but the additional $SYMMETRICFAÇADEMIDDLE$ is due to differences in the middle of the facade. Another rule based on differences is $SYMMETRICFAÇADEMIDDLE \rightarrow FAÇADEELEMENT FAÇADEELEMENT$.

The structure of the grammar is shown in Fig. 2. There are three levels in the grammar. The first one contains the symbols which have no information about the structure of the facade. For example the start symbol $FAÇADE$. The only information at this stage is the outline of the building. In the second level structural information is ad-

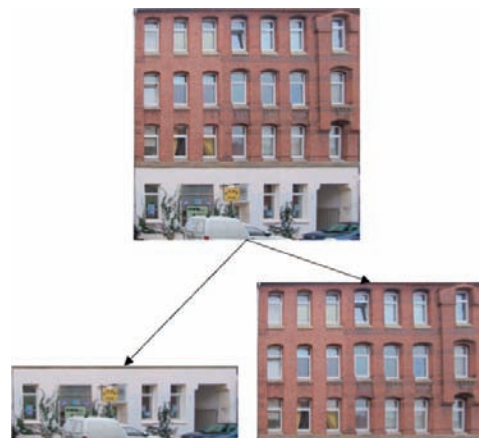


Fig. 3: Subdivision of a facade in an upper and a lower part.

ded. The symbols can express symmetries, repetitions and so on. The terminal symbols, which are the real facade elements like WINDOW or DOOR, belong to the third level.

The model is described by a parameter vector θ which contains the derivation tree and the attributes of the symbols. E. g. the parameter vector of the configuration in Fig. 3 is represented by the hierarchic structure $\theta = \text{FACADE}(0,0,w,h,(\text{PARTFACADE}(0,0,w,h_s),\text{PARTFACADE}(0,h_s,w,h-h_s)))$, where w and h are the width and height of the facade and h_s is the height of the split.

3 Facade Reconstruction using RjMCMC

We obtain the model of the facade using a stochastic process. We are searching for the model given by parameter vector θ with the highest probability $p(\theta|D_S D_I)$ under given scan (D_S) and image data (D_I) where the parameter vector θ encodes the current state of the derivation tree, including attributes.

So we search for an unknown probability distribution $p(\theta|D_S D_I)$. To sample from such a distribution MCMC methods are often used. A Markov Chain that simulates a random walk in the space of θ is constructed. The transition kernel assigns a probability to each change from one state to another. After a proposed change an acceptance probability decides whether the change is accepted or not. The acceptance probability is defined in a way that the system converges to the target distribution $p(\theta|D_S D_I)$. In our case the dimension of θ changes during the process. This is not possible in the basic MCMC method. Therefore we use rjMCMC which contains jumps (dimension changes) of θ . The probability of a dimension change is added to the transition kernel.

For the rjMCMC process with target distribution $p(\theta|D_S D_I)$ we have to define a transition kernel $J(\theta_t|\theta_{t-1})$ and the acceptance probability α .

The transition kernel $J(\theta_t|\theta_{t-1})$ assigns a probability to each rule and is made up from the commonness of the result in a dataset

of facade images and some functions of the processed facade, which are described below. With the transition kernel in each iteration a rule is proposed. This is accepted with the acceptance probability

$$\alpha = \min \left\{ 1, \frac{p(\theta_t|D_S D_I) \cdot J(\theta_{t-1}|\theta_t)}{p(\theta_{t-1}|D_S D_I) \cdot J(\theta_t|\theta_{t-1})} \right\} \quad (1)$$

This depends on the unknown distribution $p(\theta_t|D_S D_I)$. Using Bayes' law, this is proportional to $p(D_S D_I|\theta_t) \cdot p(\theta_t)$, a product of likelihood and prior of the facade. In the following sections the jumping distribution and the acceptance probability are described in detail.

3.1 Jumping Distribution

The jumping distribution assigns a probability to each possible change in the facade structure. According to this probability a change is proposed. The method contains changes of different kinds. The first one is the application of a grammar rule. This splits the facade in different parts based on differences or repetitions in the facade. For this kind of change additional parameters must be proposed as well. These are for example the cut position or the number of parts in the facade. The distribution of these parameters is important for the acceptance of the change. To ensure reversibility, each rule can be applied from left to right and vice versa. This is a difference to the way split grammars are used, but is a requirement for the rjMCMC approach.

The second kind of change is a rearrangement in the structure. The symbols stay the same but the parameters are modified. The position of a parting line can change or the size or number of windows alters.

To build the transition kernel two kinds of distributions have to be defined. The first one is the probability to choose a rule and the second one defines the parameter like the position of a split line or the number of windows. Presently the probability for rules is assigned manually depending on an assumed likelihood of the result. For example, a change $\text{FACADE} \rightarrow \text{IDENTICALFACADEAR}$



Fig. 4: Smoothed image maintains only large changes in facade structure (left). Clustered facade calculated by colour value and depth (right).

RAY is more likely than FACADE \rightarrow FACADEARRAY because facades build regular structures of similar elements. Some hints for the assumptions are taken from a database of facade images from Hannover.

We need information about the distribution of colour or depth on the facade to control the split operation and to determine the distribution of the windows. Both depend on regularities and differences. For window grids we use autocorrelation and for splits a function based on a norm.

For splitting the facade into parts a change in colour or depth on a large part of the facade or irregularities in structure are needed. The changes of colour and depth occur in different scales. We search for changes which influence a large part of the facade, for example a horizontal colour change is often associated with a change in the window structure, or alternatively changes caused by windows. Smaller artefacts in the facade may disturb the result. So we have different ways to score splits but in each we have to mask the small changes which falsify the result. One way to suppress such unwanted changes is to use a smoothed image (see Fig. 4, left). Another possibility is to cluster the facade depending on the colour value and in another step depending on the depth value. The colour and depth image are clustered with k-means with manually chosen k are shown in Fig. 4 (right). From these images we can derive distributions for the additional parameters.



Fig. 5: Two regions above and below the tested split line were moved over the facade.

To get the distribution of a split line we move the proposed split line from bottom to top of the facade (see Fig. 5) and look at the regions above R_u and below R_l the line. Differences between the regions score for the split. To evaluate the split line we compute the norm of the difference of both regions

$$\|R_u - R_l\|_2 = \sqrt{\sum_{x,y} (R_u(x,y) - R_l(x,y))^2}, \quad (2)$$

where $R_u(x,y)$ is the rgb value at position (x,y) .

The results are shown in Fig. 6. For a better visual understanding the original facade image is overlaid to the resulting graph. With

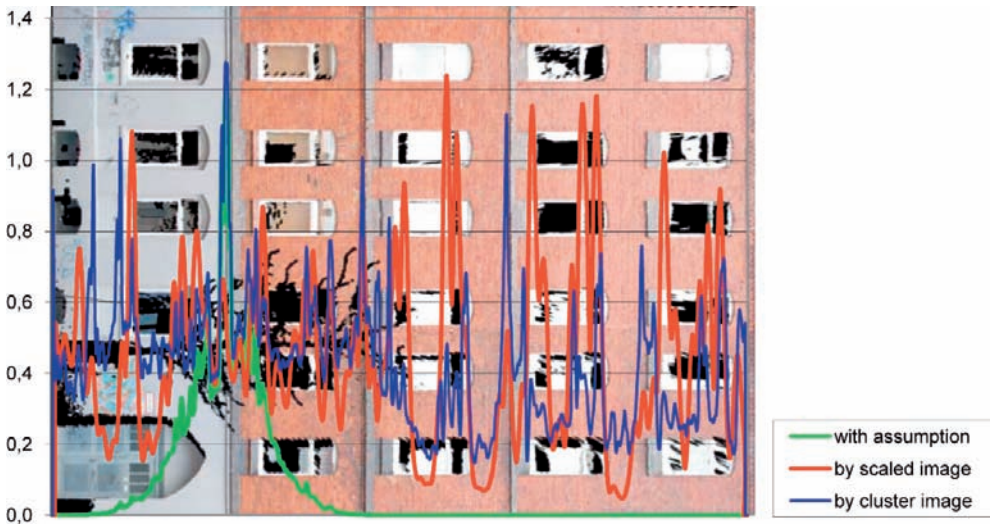


Fig. 6: Facade image overlaid with the probability of splits evaluated by a scaled image and cluster image. Additionally the probability derived from the clustered image is combined with a general assumption to reduce high scores at false positions.

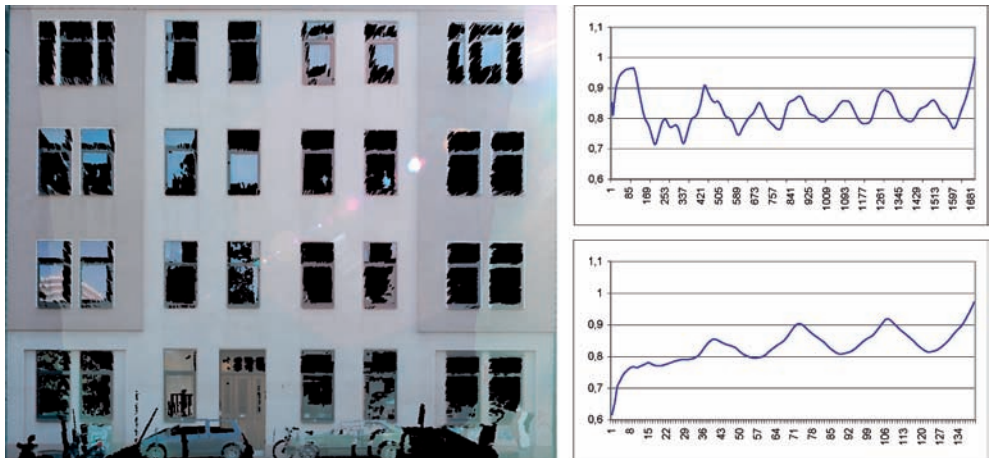


Fig. 7: Autocorrelation coefficient of a facade in horizontal and vertical direction.

the cluster image (blue line) we achieve better results than with the scaled image (red line) because on the scale image lines at top edges of windows are scored better than colour changes throughout the entire facade. This is because the colour differences between black window area and grey or red wall area is greater than the difference between grey and red wall area. This happens for many facades with different colours in

ground floor and upper floors. Therefore we use the norm of cluster images to get the split line distribution.

To reduce the number of false proposals we integrate a general assumption to the distribution. The split occurs between the ground floor and the upper floors and most of the facades in the test area have four or five floors. So we introduce the assumption that the position of the split line is normally

distributed with a mean at one quarter of the height of the facade. This masks the high scores in the upper part of the facade out (see Fig. 6 green line).

To predict the distribution of windows we use autocorrelation. We correlate the overlapping parts of the facade image and a copy of it which we shift horizontally resp. vertically. Fig. 7 shows the resulting graphs. In the case of a regular window grid the correlation values show peaks in a regular distance. The number of peaks is the number of window rows resp. columns including one peak for the identical image. If the margins of the image are alike one additional peak for the case when the overlap tends towards zero arises. In the example the horizontal correlation shows nine peaks because of the eight window columns plus one for identical and border case. This pattern is not so clear for the vertical correlation because of the different ground floor.

3.2 Scoring Functions

The evaluation if a change is accepted is based on the scan and image data as well as the general knowledge of facades. The scoring functions affect the acceptance probability (1) in the term $p(D_S D_I | \theta_i) \cdot p(\theta_i)$ respectively $p(D_S D_I | \theta_{i-1}) \cdot p(\theta_{i-1})$.

The general plausibility of the model of the facade is given by the second term $p(\theta_i)$, the prior. It depends on the alignment, the extent and the position of the facade elements. Here we use the same scoring functions as given in (DICK et al. 2004) which where described in (RIPPERDA & BRENNER 2006) as well.

The second group evaluates how good the model fits the data by comparing it to range and image data. This corresponds to the likelihood term $p(D_S D_I | \theta_i)$. In any case, the evaluation functions return a score which builds an acceptance probability for the change.

To determine $p(D_S D_I | \theta_i)$ we have different possibilities which use scan and image data. We develop measures for depth and colour and use correlation, entropy and variance as well.

First we look at a method to score a single window. For colour images we use the fact that windows have a different colour from facades. Typically they appear darker than the facade but in some cases also brighter because of reflections. If we use depth images we have the information that the windows typically lie behind the facade. This leads us to a method working on the clustered images. Therefore we consider one region for the window and one for the boundary (see Fig. 9 left) and look at the clusters inside these regions. Let N_{\max} be the number of pixels of the largest cluster inside the proposed window region, N_0 the number of unclassified pixels, A_{win} the area of the window, A_{bound} the area of the boundary and N_{bound} the number of pixels of the boundary which belong to the largest cluster inside the window. a_C gives a measure for the window.

$$a_C = \frac{1 + \frac{N_{\max} + N_0}{A_{\text{win}}} - \frac{N_{\text{bound}}}{A_{\text{bound}}}}{2} \quad (3)$$

To test this method separately we cut out a single window from a facade. For this small data set we compute the score a_C for each possible position of the window (see Fig. 8a). Width and height are usually estimated in the process as well, but we show only the position here because of the 2D visualisation. The position is the lower left corner of the window and the plot of the score shows the lower left part of the test area where the possible positions are located. Then we run the MCMC process for a single window (see Fig. 8b) and compare the results with the distribution given by the score function. In both plots red colour means high values and blue colour low values. To give an idea of the changes between two states Fig. 8c shows a part of the random walk. Fig. 8d shows the most frequent window position marked in the colour cluster image where different colours indicate different clusters.

To score the distribution of windows we use a homogeneity measure. Here we give the priority to the similarity within a region instead the difference of two regions. We de-

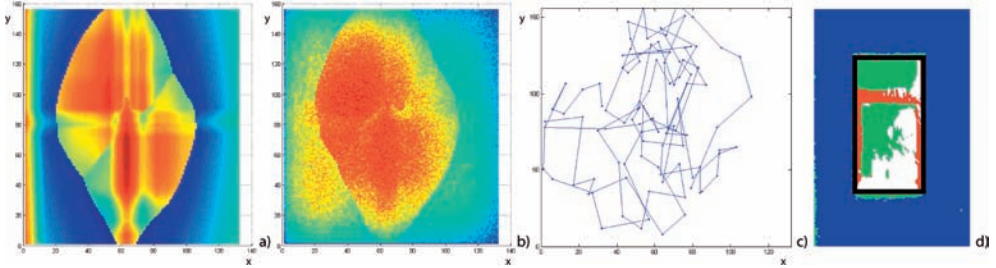


Fig. 8: Reconstruction of a single window from a colour cluster image. a): Score function for all possible positions, b): Frequency of positions sampled with MCMC, c): Extract of the random walk, d): Most frequent window position drawn in the colour cluster image.

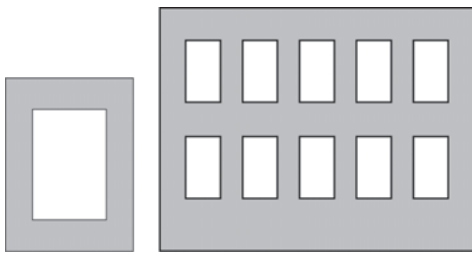


Fig. 9: Mask for a single window (left) and an array of windows (right). The window area is white and the boundary area grey.

fine one region for all windows and one for the surroundings (see. Fig. 9, right). If both regions are homogeneous the score for the window distribution is high. As a measure for homogeneity we use entropy or variance. Here we discuss entropy in detail.

Entropy is

$$I = \sum_{i=1}^n \frac{|C_i|}{A} \log_2 \frac{A}{|C_i|}, \tag{4}$$

where n is the number of clusters, A the total area and $|C_i|$ the number of points in the i -th cluster. We calculate the entropy for the proposed window area and the surrounding separately and use the sum for the score function. Fig. 10a shows the score function for different grid positions. We fix the number of grid points and the distance between them for a better visualisation.

Because entropy gives high values for disorder and low values for homogeneous regions we invert the function. Before that we normalize it by $\log_2 n$ which is the highest possible value. So the probability is given by $\alpha_1 = 1 - I / \log_2 n$ (see Fig. 10b).

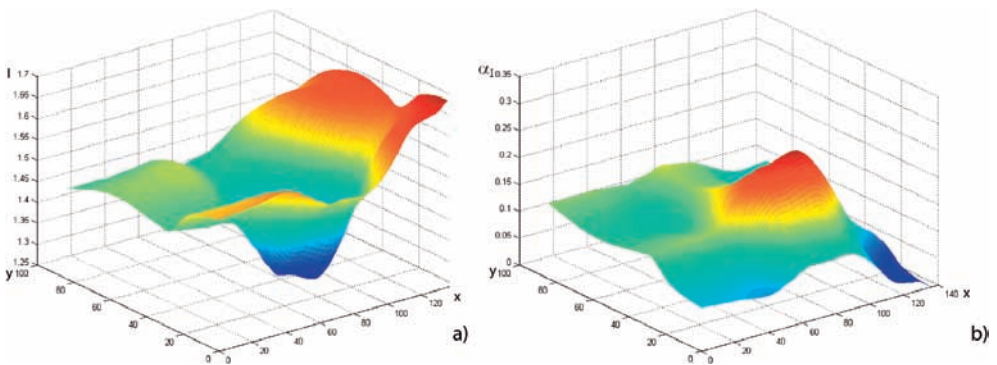


Fig. 10: Sum of entropy of window and boundary area for different grid positions (a) and the probability function derived from the entropy (b).

4 Results

We've tested the method on facades of dwelling houses. The input data are the point cloud and an orthophoto which is generated with the RiScanPro software. The other required data are computed in a first step.

Fig. 11 shows some results of the reconstruction. In the facade on the left the model consists of a regular grid of window pairs. The size of the windows is modelled properly but not all windows are modelled at the right position. This is because the windows are not exactly arranged in a regular grid. In the second facade the vertical split line (green line) between ground floor and upper floors is modelled at the correct position. For a similar reason as in the first facade not all windows are at the right position. But after a vertical split the windows in the regular region are modelled correctly (cf. Fig. 11, right).

5 Conclusions and Outlook

In this paper, we have presented a method for automatic facade reconstruction from scan and image data. It combines the generation of artificial facade structures using grammars, and the reconstruction of facades using rjMCMC. Compared to existing grammar-based approaches, we gain the ability to reconstruct facades based on measurement data. Compared to existing rjMCMC approaches, by using a grammar, we obtain a hierarchical facade description

and the ability to evaluate superstructures such as regularity and symmetry at an early stage, i. e., before terminal symbols such as WINDOW are instantiated.

For further work we want to enlarge our knowledge of facades to improve the proposal of facade elements. Therefore we analyse a set of facade images to get information about average window size, distance or style. Furthermore we plan to extend the facade grammar in order to be able to model a wider class of facade elements like balconies or ornaments.

Acknowledgements

This work was done within in the scope of the junior research group "Automatic methods for the fusion, reduction and consistent combination of complex, heterogeneous geoinformation", funded by the VolkswagenStiftung, Germany.

References

- ALEGRE, F. & DALLAERT, F., 2004: A probabilistic approach to the semantic interpretation of building facades. – Workshop on Vision Techniques Applied to the Rehabilitation of City Centers.
- BALTSAVIAS, E.P., 2004: Object extraction and revision by image analysis using existing geodata and knowledge: current status and steps towards operational systems. – ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing **58**: 129–151.
- DICK, A., TORR, P., CIPOLLA, R. & RIBARSKY, W., 2004: Modelling and interpretation of architec-



Fig. 11: Reconstruction of facades. A regular grid of double windows is modelled for the left facade. In the middle the horizontal split line is reconstructed correctly (green line) but not all windows are modelled at the right position. After splitting the regular area of the upper part the window grid is modelled at the right position.

- ture from several images. – *International Journal of Computer Vision* **60** (2): 111–134.
- MARVIE, J.-E., PERRET, J. & BOUATOUCH, K., 2005: The fl-system: a functional l-system for procedural geometric modeling. – *The Visual Computer* **21** (5): 329–339.
- MAYER, H. & REZNIK, S., 2006: Building facade interpretation from uncalibrated wide-baseline image sequences. – *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* **61**: 371–380.
- MITCHELL, W.J., 1990: *The Logic of Architecture: Design, Computation, and Cognition*. – MIT Press, Cambridge, Mass.
- PARISH, Y. & MÜLLER, P., 2001: Procedural modeling of cities. – ACM SIGGRAPH.
- PRUSINKIEWICZ, P. & LINDENMAYER, A., 1990: *The algorithmic beauty of plants*. – Springer, New York.
- RIPPERDA, N. & BRENNER, C., 2006: Reconstruction of facade structures using a formal grammar and rjmcnc. – *Pattern Recognition, Proceedings of the 28th DAGM Symposium*: 750–759.
- STINY, G. & GIPS, J., 1972: *Shape Grammars and the Generative Specification of Painting and Sculpture*. – Auerbach, Philadelphia: 125–135.
- TOURNAIRE, O., PAPANODITIS, N. & LAFARGE, F., 2007: Rectangular Road Marking Detection with Marked Point Processes. – *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, **36** (3/W49A): 149–154.
- TU, Z., CHEN, X., YUILLE, A. & ZHU, S., 2005: Image Parsing: Unifying segmentation, detection and recognition. – *International Journal of Computer Vision* **63** (2): 113–140.
- VAN GOOL, L., ZENG, G., VAN DEN BORRE, F. & MÜLLER, P., 2007: Towards Mass-Produced Building Models. – *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* **36** (3/W49A): 209–220.
- WONKA, P., WIMMER, M., SILLION, F. & RIBARSKY, W., 2003: Instant architecture. – *ACM Transaction on Graphics* **22** (3): 669–677.

Address of the Author:

Dipl.-Math. NORA RIPPERDA, Leibniz Universität Hannover, Institut für Kartographie und Geoinformatik, Appelstraße 9A, D-30167 Hannover, Tel.: +49-511-762-19436, Fax: +49-511-762-2780, e-mail: Nora.Ripperda@ikg.uni-hannover.de

Manuskript eingereicht: November 2007
Angenommen: Januar 2008

Die schlagbezogene Schätzung des Düngereinsatzes – ein Beispiel für das Flächennutzungsmonitoring mit Fernerkundungsdaten

SIBYLLE ITZEROTT & KLAUS KADEN, Potsdam

Keywords: Remote sensing, spectral standard curve, crop classification, fertilizer application, monitoring of agricultural land use on field level

Summary: *Estimation of fertilizer application on field level – an example of land use monitoring with remote sensing data.* Remote sensing can basically make an important contribution to a complex environmental monitoring. Based on a remotely sensed monitoring of land use, spatial information relevant for fertilizer applications can be derived with the required timeliness. An algorithm using spectral standard curves, developed by the authors, was applied in order to identify field crops for seven vegetation periods and four different areas. The resulting land use information was linked according to the fertilization regulation with nitrogen application rates. Results were validated by a comparison to available statistics on farm and administrative district level. By the integration of the remote sensing method not only comparable findings about fertilization quantities were derived, but also a spatially specific input rate for each agricultural plot was determined. The paper demonstrates that remote sensing based methods can be integrated into the applied research.

Zusammenfassung: Die Fernerkundung kann einen wichtigen Beitrag zu einem komplexen Umweltmonitoring leisten. Basierend auf der Kontrolle der Flächennutzung mittels Fernerkundungsdaten können raumkonkrete und zeitnahe Aussagen z. B. über den Düngereinsatz gemacht werden. Ein von den Autoren entwickelter Algorithmus zur Anwendung spektraler Normkurven wurde zur Identifikation von Ackerkulturen für sieben Vegetationsperioden und vier räumlich getrennte Gebiete getestet. Die so gewonnenen Flächennutzungsinformationen wurden entsprechend der Düngeverordnung mit Stickstoff-Düngegaben verknüpft. Die Prüfung der Ergebnisgüte erfolgte auf Betriebsebene und Kreisebene mit verfügbaren Statistiken. Die Einbindung der Fernerkundungsmethode ermöglicht nicht nur vergleichbare Aussagen über die Düngemengen, es kann außerdem ein spezifischer, bisher in dieser Qualität nicht vorhandener Raumbezug hergestellt werden, der für jeden Einzelschlag eine konkrete Angabe verzeichnet. Dies ermöglicht im Vergleich zur heutigen Praxis, Aussagen zum Nährstoffinput auf administrative und/oder naturräumliche Einheiten zu beziehen. Der Beitrag weist die prinzipielle Integrationsfähigkeit dieses fernerkundungsbasierten Ansatzes in die angewandte Forschung nach.

1 Einleitung

Umweltorientierte Forschungen sind in den letzten Jahren in das Blickfeld der Gesellschaft getreten. Politik und Öffentlichkeit erwarten Antworten auf Fragen, die sich zwischen ökonomischen, ökologischen und

sozialen Ansprüchen ergeben und im Sinne der Nachhaltigkeit gelöst werden sollen. Durch Modelle und Simulationen versucht man gegenwärtig zu Prognosen zu gelangen, die Handlungsempfehlungen geben (Decision Support Systems). So greift man z. B. bei der Umsetzung der europäischen Was-

serrahmenrichtlinie auf Modelle zurück, die auf Kenntnissen über Wassermenge und -güte basieren. Dafür sind präzise Raum-Zeit-Informationen über die Flächennutzung notwendig, um einerseits über Nährstoffbilanzen zu Aussagen über die Wassergüte zu kommen und um andererseits über Transpirationsraten die Grundwasserneubildung besser abschätzen zu können. Dabei können die Vorteile der Fernerkundung hinsichtlich der Raum-Zeit-Auflösung genutzt werden. Hier, wie auch für viele andere angewandte Problemstellungen aus der Praxis, kann die Flächennutzung als Ansatzpunkt dienen. Sie entspricht dem aktuellen Abbild unserer Umwelt und integriert unter dem Landschaftsbegriff das Zusammenwirken natürlicher und anthropogener Komponenten des menschlichen Lebensraumes. Einen großen Teil an der Flächennutzung nimmt die landwirtschaftliche Nutzung ein. Sie ist durch die Einbringung von Nährstoffen in den Boden und den Entzug durch die Pflanzen ein wesentlicher Faktor in der Betrachtung von diffusen Nährstoffbewegungen. Stickstoff entscheidet als essentieller Pflanzennährstoff über Ertrag und Qualität der angebauten Ackerkultur. Gleichzeitig wirken Stickstoffeinträge auf die Umweltbereiche Wasser, Boden und Luft und können dort zu unnatürlichen Anreicherungen führen. 1996 wurde in Deutschland eine Düngerverordnung (DüV) verabschiedet und so die gesetzliche Grundlage geschaffen, die Umweltbelastungen durch die Landwirtschaft zu reduzieren und zu kontrollieren. Sie regelt mit ihrer Neufassung 2007 (BRD 2007) und dem Bundes-Bodenschutzgesetz (BRD 2001) die Düngung nach guter fachlicher Praxis, schafft Rahmenbedingungen für eine umweltfreundliche Ausbringung von Düngemitteln und verpflichtet den Landwirt, Aufzeichnungen über Zu- und Abfahren von Nährstoffen zu machen sowie Bodenuntersuchungen durchzuführen und nachzuweisen. Ziel ist es, durch nachhaltige Bewirtschaftungsformen unter anderem auch die Gewässergüte laut Wasserrahmenrichtlinie (EU 2000) zu verbessern. Das Anbauverhalten der Landwirtschaftsbetriebe wird somit eine entscheidende Kontrollgröße.

Fruchtfolgen bildeten noch bis 1990 das Kernstück des Anbaus. Heute findet man kaum noch geregelte Fruchtfolgen. Globalisierte Absatzmärkte, betriebswirtschaftliche Zwänge und Förderprogramme haben, verbunden mit verbesserten Bewirtschaftungsmöglichkeiten, zu einem in Raum und Zeit stark variablen Anbau geführt. Monitoringprogramme für die landwirtschaftliche Flächennutzung können daher nicht an standardisierten Fruchtfolgen ansetzen. Für ökonomisch und ökologisch orientierte Analysen (z. B. die Entwicklung von Förderprogrammen oder die Verringerung der Umweltbelastung) benötigt man zuverlässige Aussagen über das kurz-, mittel- und/oder langfristige Anbauverhalten der Landwirte, das als jährliches Anbaumuster aus Fernerkundungsdaten ermittelt werden kann.

Im Folgenden soll im Anwendungsbeispiel vorgestellt werden, wie auf der Grundlage einer durch Fernerkundungsdaten gewonnenen raum- und zeitpräzisen Fruchtfolgeklassifizierung eine Düngegabeabschätzung durchgeführt wird, die als Eingangsparameter in Nährstoffbilanzmodelle dienen kann. Dabei zielt die Darstellung auf die Bewertung großer naturräumlicher und administrativer Raumeinheiten, wie Landkreise und Flusseinzugsgebiete, da für diese der Ermittlungsaufwand aus Betriebsstatistiken nicht zu leisten ist und bisher Abstriche in der Zeit- und Raumpräzision (in der Regel erfolgt in Modellen eine zufällige räumliche Verteilung der statistisch ermittelten Fruchtartenanteile gekoppelt mit Richtwerten der Düngempfehlung) hingenommen werden mussten. Auch in der hier dargestellten Methode werden Richtwerte der Düngempfehlung verwendet, durch die Verknüpfung mit der Fruchtartenklassifizierung gelingt jedoch die exakte räumliche Verortung der Düngeeinträge.

2 Die Flächennutzung als Gegenstand der Fernerkundung

Zweifelsohne ist die Flächennutzung momentan ein zentrales Aufgabenfeld der Fernerkundung. Flächennutzungsparame-

ter werden bereits für verschiedene Raum-Zeit-Analysen verwendet. Dabei zeigt die nachfolgende Analyse einzelner Forschungsansätze in den wissenschaftlichen Reihen der letzten Jahre ein bereits beachtliches Spektrum von Einsatzmöglichkeiten von Fernerkundungsdaten. Ohne den Anspruch auf eine vollständige Analyse zu erheben, zeichnen sich unseres Erachtens unterschiedliche Inhaltskomplexe ab, für die sich durch die Ableitung der Flächennutzungsdynamik aus Fernerkundungsdaten die Datengrundlage verbessert.

Die *Nachhaltigkeit der Landnutzung* und der damit beabsichtigte Schutz der Ressourcen (z. B. Boden, Wasser, Flora, Fauna) zielen auf das Erkennen von Indikatoren für die Nachhaltigkeit und deren Kontrolle. Beides ist verknüpft mit einem Landnutzungsmonitoring. So wird bei (SMITH et al. 1998, 2000) der Nachhaltigkeitsbegriff u. a. mit „crop rotation, control land use, cropping patterns und diversity“ abgegrenzt und in einem Modell die Gefährdung der Nachhaltigkeit durch die landwirtschaftliche Nutzung bewertet. VAN DER VLIST et al. (1998) verbinden die Landnutzungsplanung mit „Space-time differentiation“ und „differences between land-use activities“ und leiten aus deren Kenntnis eine Balance zwischen ländlicher Entwicklung und Umweltschutz ab. TAPIADOR et al. (2003) stellen bereits eine *Landnutzungskartierungsmethode* als Richtlinie für die Regionalplanung vor, die auf Fernerkundungsmethoden zurückgreift. Sie beschränkt sich aber auf invariante Nutzungsarten und verharrt demzufolge bei „crops for dry farming, crops for irrigated lands, fruits, grazing and pastures“ als Einheiten der landwirtschaftlichen Nutzung. Kenntnisse über die Landnutzungsdynamik sind auch für *Modellierungen und Szenariobetrachtungen* unabdingbar. Bisher gehen diese Parameter in unterschiedlicher Raum-Zeit-Auflösung in Modelle und Szenarios ein. OENEMA et al. (1998) beschränken sich bei der Modellierung des Nitratreintrags von der Landwirtschaft ins Grundwasser im Wesentlichen auf „farming systems“ und beziehen den Raum-Zeit-Aspekt kaum ein. Ebenso wird bei (FERRIER et al. 1994) die

Landnutzungsänderung nur marginal und sehr grob strukturiert für die Simulation von Nitratreinträgen in ein Flusssystem berücksichtigt. (EKHOLM et al. 2000) beschränken sich bei ihrer Darstellung des Zusammenhangs von Einzugsgebietscharakteristik und Nährstoffkonzentration auf Ackerlandanteile, ohne deren Bewirtschaftung weiter zu differenzieren. Beschränkt auf jeweils kleine Landschaftsausschnitte wird bei (OPPELT 2002, STROPPIANA et al. 2005 und TICKSEL et al. 2004) auf der Basis von Hyperspektraldaten aus Flugzeugaufnahmen bereits ein klarer Zusammenhang zwischen Fruchtart, Pflanzenzustand und Nährstoffgehalt von Boden und Pflanze hergestellt. Tendenziell ist festzustellen, dass Fernerkundungsdaten als Basis für eine verbesserte Berücksichtigung der Flächennutzung in Modellen erkannt worden sind. So nutzen (KING et al. 2005) verschiedene Fernerkundungsdaten als alternativen Input für ein Abflussmodell und setzen diese u. a. zur differenzierten Erfassung des Bedeckungsgrades in drei Abstufungen ein. Das zeigt eine Prinziplösung auf, jedoch ohne Darstellung ihrer Tragfähigkeit für multitemporale Ansätze. Ähnliche Einschätzungen gelten für (SOUCHERE et al. 2003) bzw. (MARTINEZ-CASASNOVAS et al. 2005) hingegen greifen das „*multi-year cropping pattern*“ explizit auf und stellen einen Lösungsansatz vor. Der aktuelle Bedarf für solche Lösungen zeigt sich beispielsweise bei (WECHSUNG et al. 2000), wo die Flächennutzungsdynamik mittels Zufallsverteilung in die Modellierung einfließt. Bei (NEARING et al. 2005) werden Szenarios in Abhängigkeit vom Bedeckungsgrad vorgestellt ohne diesen räumlich zu fixieren. (CHEN et al. 2004) diskutieren die Rolle der Fernerkundung bei der Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie. Das allgemeine Potenzial der Fernerkundungsdaten als Entscheidungsgrundlage, wie beispielsweise bei (KALLURI et al. 2003) dargestellt, gibt Anregungen für verschiedene Anwendungen, speziell auch für Raum-Zeit Analysen. Dies erfordert an GIS angepasste und integrierte Analysemethoden bis hin zur Entwicklung eines monitoringfähigen Analysepakets, wie in Grundzügen bei (MARACCHI et al. 2000) bereits vorgestellt.

Das Spektrum an Monitoringaufgaben, die mit in Raum und Zeit konkreter Flächennutzungskontrolle verbunden sind, ist somit weit und weist den Weg zur Integration der Fernerkundung in die angewandte Forschung.

Wie in fast allen Anwendungsbeispielen festzustellen ist, besteht insbesondere bei Monitoringansätzen das Problem der Übertragung von empirischen, am Einzelfall gewonnenen Lösungen auf andere Raum- und Zeitausschnitte. Um das zu beheben, muss die Datenauswertung auf verallgemeinerten Zeitabläufen aufbauen. Für die Flächennutzung bieten sich Bewirtschaftungszyklen an, die als normierte phänologische Abläufe abgebildet werden können. Wie schon bei (BADHWAR et al. 1984, GUERIF et al. 1996 und CLEVERS et al. 2000) und von den Autoren in vorangegangenen Veröffentlichungen (ITZEROTT & KADEN 2006) dargestellt, ist die Verwendung spektraler Normkurven und ein speziell dafür zugeschnittener hierarchisch strukturierter Klassifizierungsalgorithmus eine geeignete Methode, Monitoringansätze für die Kontrolle der Flächennutzungsdynamik zu realisieren.

Auf dieser Basis können Fruchtfolgen kontinuierlich erfasst werden. Durch eine anschließende Verknüpfung mit Düngeempfehlungswerten wird die Basis für die Bewertung potenzieller ökologischer bzw. ökonomischer Konsequenzen des Düngeverhaltens gelegt. Dabei stellen die Autoren die prinzipielle Integrationsfähigkeit eines fernerkundungsbasierten methodischen Ansatzes in die angewandte Forschung in den Mittelpunkt.

3 Methodik

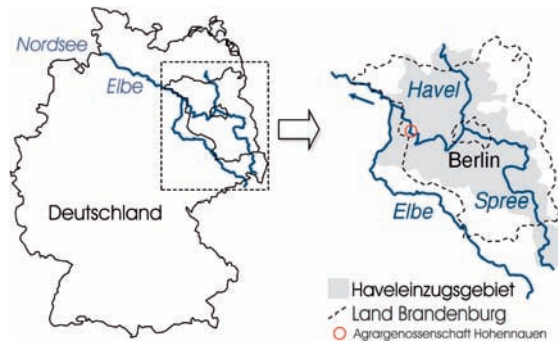
Die Entwicklung des Verfahrens erfolgte in zwei Hauptschritten: der Gewinnung von Normkurven aus einer 15-jährigen Folge von 35 atmosphärenkorrigierten Landsat-TM/ETM-Datensätzen und der Generierung eines Algorithmus zur Verwendung der Normkurven in einer Klassifizierung für einzelne Anbaujahre.

Aus der Verknüpfung der Anbauinformation von 6 Agrarbetrieben für etwa 400

Ackerflächen mit der Information eines Vegetationsindex (NDVI) dieser Flächen der Jahre 1987 bis 2002 wurden Normkurven für die 12 typischen landwirtschaftlichen Kulturen (Winterweizen, Winterroggen, Wintergerste, Wintererbsen, Silomais, Sommergetreide, Zuckerrüben, Kartoffeln, Ölfrüchte und Leguminosen, Feldgras im ersten Anbaujahr, Feldgras als Dauerkultur, Brache) erstellt. Besonderes Augenmerk lag dabei auf der phänologisch exakten Einordnung des abgebildeten Entwicklungszustandes für jede Kultur zu jedem der Aufnahme-termine. Nur so besteht die Möglichkeit, die Information aus verschiedenen Beobachtungsjahren mit unterschiedlicher Witterungsausprägung auf ein phänologisches Normjahr zu transformieren. Die entstandene Normkurve verknüpft folglich jeden Phänozustand einer Kultur mit einer konkreten Spektralinformation, in diesem Fall mit dem mittleren NDVI sowie einem durch Maximum- und Minimumwert definierten Toleranzintervall.

Der Klassifizierungsalgorithmus ist auf die schlaggenaue Erkennung von Ackerkulturen ausgerichtet. Er verwendet das Parallelepipedverfahren, ist pixelorientiert und hierarchisch angelegt. Eigene Untersuchungen haben gezeigt, dass für die optimale Trennung der Fruchtarten eine jährliche Bildfolge von 5 Datensätzen zur Verfügung stehen müsste, die etwa an den Tagen 100, 135, 185, 225 und 255 des phänologischen Normjahres aufgezeichnet sein sollte. Die tatsächlich für die Jahre zur Verfügung stehende Aufnahmeanzahl weicht davon zum Teil deutlich ab (siehe Abb. 1). Im hierarchischen Ansatz werden zunächst Dauerkulturflächen ermittelt, danach Winter- und Sommerkulturen separiert und nach erfolgreicher Maskierung getrennt klassifiziert. Die Ergebnisse der Teilklassifizierungen werden verknüpft und abschließend einer schlagbezogenen Majoritätsanalyse unterzogen. Die jeweilige Entscheidungsregel kann unmittelbar aus den Normkurven gewonnen werden. Die für das Anbaujahr existierenden Bilddatensätze müssen dazu in das phänologische Normjahr eingepasst werden. Für jede Kultur wird anhand von Beobachtungsdaten

Jahr	Ausnahmetermine
1994	21. Juli, 22. August
1995	25. Oktober, 5. Mai, 8. Juli, 9. August
1996	1. Februar, 21. April, 8. Juni, 11. August; 14. Oktober
1997	14. Oktober, 24. April, 2. Juni*, 15. September
1998	26. März, 21. Juni*
1999	30. April, 11. Juli, 13. September
2000	12. Februar, 2. Mai, 19. Juni, 14. August



* IRS-C Aufnahme

Abb. 1: Liste der Landsat-TM/ETM-Aufnahmen für die jährliche Fruchtartenklassifizierung und Lage des Untersuchungsgebietes.

des DWD der in der Aufnahme abgebildete phänologische Zustand ermittelt und die zugehörigen Spektralwerte der Normkurve entnommen.

Das eigentliche Untersuchungsgebiet ist das Einzugsgebiet der Havel (ausgenommen der Spree) mit seinen administrativen und naturräumlichen Einheiten. Es hat eine Fläche von ca. 14000 km², liegt im Nordostdeutschen Tiefland und ist durch intensive landwirtschaftliche Nutzung auf überwiegend sandigen Böden geprägt (BRONSTERT & ITZEROTT 2006). Die Kalibrierung des Algorithmus und die Validierung der Ergebnisse wurden wegen der benötigten statistischen Daten an Teilräumen durchgeführt. Diese wurden so ausgewählt, dass sie das naturräumliche Spektrum des Havelgebietes (JACOBS 2006) in groben Zügen abdecken (Bodengüte, Wasserdargebot). Exemplarisch werden die Ergebnisse für die Agrargenossenschaft Hohennauen und die Kreise Oberhavel und Havelland vorgestellt.

4 Ergebnisse

Die Nutzung des Verfahrens ermöglichte eine zügige Ermittlung der Anbaukulturen für verschiedene Anbaujahre und Gebietsausschnitte. Insgesamt wurde der Algorithmus für sieben verschiedene Vegetationspe-

rioden (1994–2000) angewendet. Dabei wurden vier räumlich getrennte Testgebiete (jeweils etwa 750 km²) untersucht. Außerdem wurde für die Jahre 1999 und 2000 das gesamte Einzugsgebiet der Havel (mit Ausnahme des Einzugsgebietes der Spree – ca. 14000 km²) mit diesem Ansatz bearbeitet. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt unter drei Aspekten. Auf Betriebsebene wird zunächst für die sieben Jahre für ausgewählte Schläge das Ergebnis der Fruchtartenklassifikation und die damit verknüpfte Düngemengeinformation den Anbauinformationen gegenübergestellt. In diesem Zusammenhang wird der Einfluss der Bodeneigenschaften auf die Ergebnislage verdeutlicht. Des Weiteren wird für das Jahr 2000 ein schlaggenauer Vergleich der im Verfahren geschätzten mit den empfohlenen Düngemengen für die Agrargenossenschaft Hohennauen vorgestellt. Abschließend erfolgt eine Bewertung der gewonnenen Düngemengeinformation für zwei Landkreise des Einzugsgebietes.

4.1 Darstellung der Ergebnisse für Einzelschläge

Eine zentrale Rolle in der Bewertung der Ergebnisse kommt der Einzelschlagbetrachtung zu, weil nur auf dieser Raumebene exakte Vergleichskriterien zur Verfügung ste-

hen. Das betrifft sowohl Anbauinformationen hinsichtlich Kultur und Düngengebe als auch die Naturraumausstattung. Die sechs ausgewählten Schläge (siehe Tab. 1) besitzen eine unterschiedliche Naturraumausstattung. Die Schläge 1, 5 und 6 sind grundwasserferne Standorte mit unterschiedlicher Bodenqualität sandiger bis sandig/lehmiger Substrate. Die Bodenwertzahlen schwanken zwischen 29 und 33. Sie sind alle dem Landbaugebiet III zugeordnet. Die Schläge 2 und 3 sind unterschiedlich stark grundwasserbeeinflusste Niederungsstandorte. Die Bodenwertzahlen liegen knapp über 40. Sie repräsentieren das Landbaugebiet II. Der Schlag 4 fällt in den ehemals überfluteten Auenbereich. Es dominieren Auengleye auf grund- und stauwasserbeeinflussten Standorten mit Bodenwertzahlen um 35 (Landbaugebiet III). Die Beispiele repräsentieren das Spektrum der natürlichen Anbaugrundlagen im Gebiet der Brandenburgischen Platten und Niederungen. Verglichen werden die konkreten Angaben der Agrargenossenschaft Hohennauen über Anbaukultur und Düngemengen (erste Zeile oben) mit den aus den Fernerkundungsdaten ermittelten Fruchtfolgen, die mit den Düngempfehlungen für das Land Brandenburg verknüpft wurden (unten). Ergänzend wird die Düngempfehlung des Landes Brandenburg für die Kultur auf einem entsprechend ausgestatteten Standort angegeben (zweite Zeile oben). Es wird deutlich, dass der Betrieb im Vergleich zur Empfehlung höhere Düngemengen für Raps und Getreide und geringere Gaben für Mais und Zuckerrüben einsetzt.

Ein Vergleich der aus den Fernerkundungsdaten ermittelten Ergebnisse mit den Angaben der Agrargenossenschaft erlaubt eine Bewertung des Ansatzes. Geht man zunächst ganz formal an die Ergebnisdiskussion heran, sind 29 von 42 Zuweisungen der Fruchtart richtig erfolgt. Das entspricht einer Quote von 69,1 % und bestätigt den für die Gesamtgenauigkeit ermittelten Wert von 70 % in (ITZEROTT & KADEN 2007). Dabei treten zwischen einzelnen Jahren Unterschiede auf. Gute Übereinstimmung bei der Fruchtartenermittlung besteht für die Jahre

1995 bis 1997 und 2000. Für diese Jahre stand eine ausreichende Anzahl von Satellitenszenen zur Verfügung (siehe Abb. 1), welche die zur Differenzierung notwendigen phänologischen Zustände der Kulturen abbilden. So existieren für das Anbaujahr 2000 4 bzw. 5 Satellitenszenen, die am 19. September 1999, 12. Februar, 02. Mai, 19. Juni und 14. August aufgezeichnet wurden. Hier wird ein breites Spektrum aus der Phänologie der Pflanzen abgebildet. Hinzu kommen Witterungsmerkmale, die für große Abschnitte des Jahres nahe an den Durchschnittswerten liegen. Allerdings wird durch den Witterungsbericht des DWD für Mai bis Mitte Juni eine deutlich negative Wasserbilanz festgestellt, die einen gravierenden Einfluss auf das Wachstum aller Winterfrüchte hat und insbesondere auf leichten Böden zu Trockenschäden führt. Die ab Ende Juni einsetzenden Niederschläge führten ab Juli zu einer ausgeglichenen Wasserbilanz. Das erlaubte für die Sommerfrüchte ein rasches Angleichen an den durchschnittlichen phänologischen Entwicklungsgang. So sind Extremwirkungen wie Dürreschäden bei Winterkulturen speziell auf die sandigsten Standorte begrenzt. In diesem Jahr bekam nur Schlag 6 eine Fehlzuzuweisung von Winterroggen zu Wintergerste. Der Naturraumtyp 410 deutet auf einen ungünstigeren Standort für die Landwirtschaft hin, der sich im Grenzbereich zum Landbaugebiet IV befindet und demzufolge anfällig für Dürreschäden war. Das Klassifizierungsergebnis belegt dies und bestätigt insgesamt die Stabilität des Verfahrens, wo durchaus gewisse witterungsbedingte Verschiebungen im Wachstumsverlauf toleriert werden.

Die weniger guten Klassifizierungsergebnisse für die Jahre 1994, 1998 und 1999 haben zwei Ursachen. Entweder ist die Zahl der für die Klassifizierung zur Verfügung stehenden Bilddatensätze zu gering bzw. die Zeitpunkte bilden den typischen Phänologieverlauf der Kultur nur unzureichend ab, oder die Witterungsbedingungen waren für einzelne Kulturen so extrem abweichend, dass der dem Verfahren innewohnende Toleranzbereich für einzelne Standorte überschritten wurde.

Tab. 1: Vergleich der Angaben des Agrarbetriebes zu Frucht und Düngung (jeweils oben: erste Zeile – tatsächliche Düngung; zweite Zeile – Düngeempfehlung) mit den Ergebnissen der Fruchtartenklassifizierung und der Verknüpfung mit Düngemengen (jeweils unten) für ausgewählte Schläge; graue Felder zeigen erhebliche Klassifizierungsfehler an.

Schlagnummer	Naturraumtyp (HAASE 1991)	Bodenwertzahl (RBS) Landbaugebiet (L.BG)	1994		1995		1996		1997		1998		1999		2000		Stückstoffgabe über 7 Jahre	Mittlere Stickstoffgabe	
			Frucht *)	Stickstoffgabe (kg/ha)	Frucht	Stickstoffgabe (kg/ha)	Frucht	Stickstoffgabe (kg/ha)	Frucht	Stickstoffgabe (kg/ha)	Frucht	Stickstoffgabe (kg/ha)	Frucht	Stickstoffgabe (kg/ha)	Frucht	Stickstoffgabe (kg/ha)			
1	412	31 III	BRA	0	BRA	0	BRA	0	BRA	0	BRA	0	BRA	0	BRA	0	0	0	0
			ÖL	43	BRA	0	BRA	0	BRA	0	BRA	0	BRA	0	BRA	0	BRA	0	43
2	512	41 II	WGE	139	WRA	204	WWE	158	WGE	139	SMA	110	WWE	158	WGE	139	1047	149,6	
			WGE	129	WRA	149	WWE	141	WGE	129	SMA	132	BRA	0	WGE	129	809	115,6	135,7
3	519	42 II	ZURÜ	160	WWE	158	SMA	110	ZURÜ	160	WWE	158	WWE	158	SMA	110	1014	144,7	
			ZURÜ	184	WWE	141	SMA	132	ZURÜ	184	KAR	137	GRAS	100	SMA	132	1010	144,3	150,7
4	618	35 III	WGE	106	SMA	95	WWE	125	SMA	95	WWE	125	WRO	88	WRA	168	802	114,5	
			WWE	104	SMA	114	KAR	117	SMA	114	WWE	113	WRO	92	WRA	123	771	110,1	112,3
5	414	33 III	SOBL	90	WRO	92	WRO	92	SMA	95	WRO	92	WRO	92	SMA	95	648	92,6	
			SGTR	89	WRO	90	WRO	90	SMA	114	BRA	0	WGE	104	SMA	114	677	96,7	82,4
6	410	29 III	WRO	92	WRO	92	ÖL	60	WRO	92	ÖL	60	WRO	92	WRO	92	580	82,9	
			WRA	90	WRO	90	ÖL	43	WRO	90	GRAS	100	WGE	104	WGE	104	654	76,6	93,4
			Σ	587	Σ	641	Σ	545	Σ	581	Σ	545	Σ	588	Σ	604			
				596		584		519		631		519		552		588			
				657		584		523		631		482		400		602			

*) BRA: Brache, ÖL: Erbsen und Lein, WGE: Wintergerste, WWE: Winterweizen, WRO: Winterroggen, WRA: Winterraps, SMA: Silomais, SOBL: Sonnenblumen, KAR: Kartoffeln, ZURÜ: Zuckerrüben, SGTR: Sommergetreide, GRAS: Feldgras

In Abb. 2 wird das Phänomen des Einflusses der Standorteigenschaften explizit sichtbar. Die dort markierten Schläge sind im Anbauregister als mit Roggen bestellt ausgewiesen. Im Ergebnis der Klassifikation werden einige Schläge richtig erkannt, andere aber als Gerste identifiziert (D). Die Ursachen dieser unterschiedlichen Zuweisung lassen sich bei genauem Vergleich der Standortbedingungen eindeutig benennen. Der

dargestellte Kartenausschnitt der Reichsbodenschätzung (A) kennzeichnet einen Streifen stark sandigen Lehms (SL – Bildmitte), flankiert von sanddominierten Substraten. Die richtig erkannten Schläge weisen wegen des sandig-lehmigen Substrats eine bessere Feldkapazität der Böden auf (17 bis 20 % der Bodentrockenmasse, DOBERS 2002), die Böden der falsch klassifizierten Schläge im oberen und unteren Bildteil haben dagegen



Abb. 2: Einfluss der Bodeneigenschaften auf die Ergebnislüte bei der Klassifizierung von Winterroggenflächen (rote Rahmen): (A) Ausschnitt der Karte der Reichsbodenschätzung; (B) Farbmischbild von Landsat-TM (Band 5, 4 und 3) vom 2. Mai 2000; Farbmischbild (Band 5, 4 und 3) vom 19. Juni 2000, (D) Klassifizierungsergebnis der Winterroggenflächen: Grün-Winterroggen, Gelb-Wintereraps, Hellgelb-Wintergerste.

eine geringere Bodentrockenmasse von 10 bis 15 %. Während dieser Unterschied im Mai noch nicht zum Tragen kommt und der Entwicklungsfortschritt aller Roggenflächen als gleich einzuschätzen ist (B), zeichnet er sich im Juni am Reifezustand deutlich ab (C). Die Flächen mit besserer Wasserversorgung befinden sich im für diesen Zeitpunkt typischen Milchreifstadium (grün im Farbmischbild). Die Bestände auf den sanddominierten Äckern sind dagegen bereits abgereift und entsprechen im Spektralsignal der zeitiger reifenden Gerste (violett im Farbmischbild). Es wird klar, dass eine Verbesserung der Ergebnislüte zukünftig wesentlich von einer Integration der Standortparameter in den Algorithmus abhängen wird. Das bedeutet, dass es Normkurven einer Kultur für verschiedene Standorttypen geben muss. Das gilt speziell für Jahre mit extremer Witterungscharakteristik.

4.2 Darstellung der Ergebnisse für die Agrargenossenschaft Hohennauen

Die Betriebsebene stellt die grundlegende Bezugsebene für statistische Erhebungen in der Landwirtschaft dar. Wurde im Ein-

zelschlagbezug vordergründig der Einfluss von Standorteigenschaften auf die Ergebnislüte der Fruchtartenklassifizierung diskutiert, steht jetzt die Bewertung der aus der Klassifizierung abgeleiteten Düngegaben anhand der Betriebskennwerte im Mittelpunkt. Abb. 3 stellt beide Datensätze flächenhaft gegenüber.

Die jährliche, schlaggenaue Feldfrucht-kartierung aus Fernerkundungsdaten (siehe Abb. 3A) kann auf der Grundlage der Brandenburgischen Düngeempfehlung problemlos mit zu erwartenden Düngegaben verknüpft und so eine Karte der Stickstoffdüngung abgeleitet werden (siehe Abb. 3C). Ein Vergleich mit der Karte der Düngemenge nach Angaben des Betriebes (siehe Abb. 3D) muss jedoch berücksichtigen, dass Abweichungen durch zweierlei Ursachen hervorgerufen werden. Einerseits bestehen Unterschiede zwischen der tatsächlichen Düngegabe und den Brandenburgischen Düngeempfehlungen. So werden für Wintereraps im Landbauggebiet II 149 kg/ha empfohlen, die Genossenschaft beaufschlagt 204 kg/ha (siehe Tab. 1). Andererseits führt fehlerhaftes Klassifizieren der Kultur zu falscher Zuweisung von empfohlenen Düngemengen. Das ist der hier tatsächlich zu bewertende

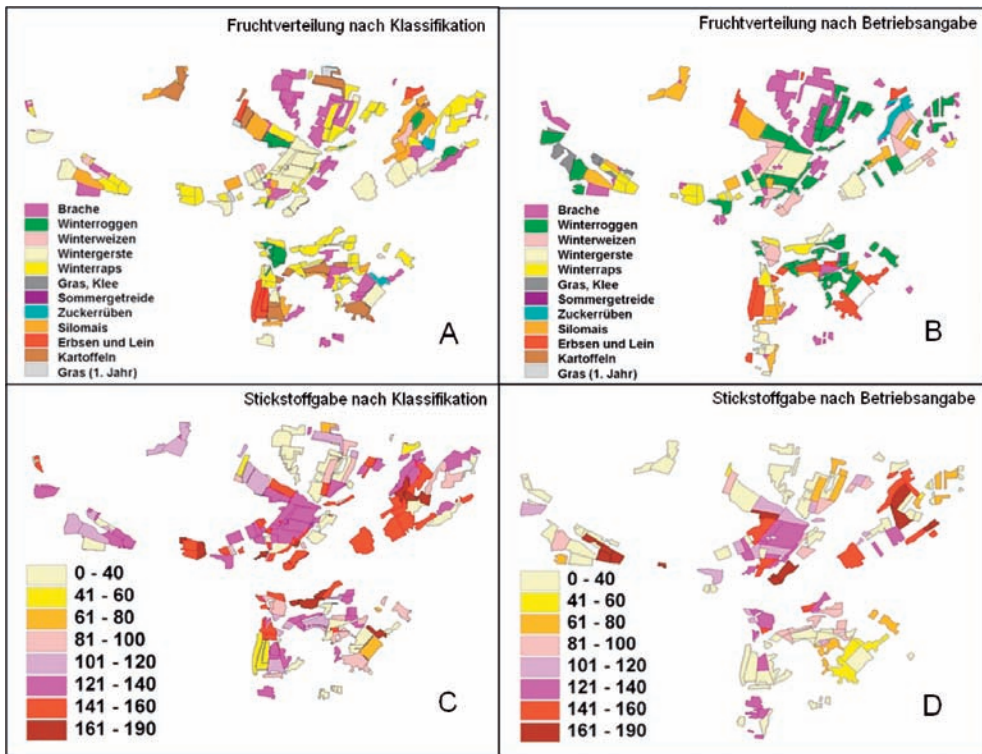


Abb. 3: Vergleich der Ergebnisse der Fruchtartenklassifizierung (A) und der Verknüpfung mit Düngemengen (C – kg/ha pro Jahr) mit den Angaben des Agrarbetriebes über Anbau (B) und Düngung (D – kg/ha pro Jahr) für das Jahr 2000.

Fehler, weil nur er aus dem Verfahren resultiert. Abb. 4 schließt deshalb die aus der landwirtschaftlichen Praxis entstehenden Abweichungen aus. Dargestellt wird die Differenz der Düngemengen, die sich aus der Verknüpfung der Brandenburgischen Empfehlung einerseits mit der Anbauinformation und andererseits mit dem Klassifizierungsergebnis ergibt.

Erhebliche Fehleinschätzungen beschränken sich auf 13 % der Fläche. Besonders gravierend wirken sich Klassifikationsfehler aus, die Brachen betreffen. Das berührt sowohl nicht erkannte Brachflächen als auch fälschlicherweise als Brache klassifizierte Flächen. Da Brachen nicht gedüngt werden, ergibt sich daraus immer ein erheblicher Fehler. Außerdem zeigen sich beträchtliche Differenzen durch Fehlzuweisung zwischen Ölfrüchten/Leguminosen und Kartoffeln.

Beide Klassen besitzen ähnliche Normkurven (ITZEROTT & KADEN 2006) aber einen stark verschiedenen Düngbedarf. Zu deutlichen Fehlern in der Düngabschätzung (30 % der Fläche) kommt es, wenn Verwechslungen zwischen Kulturen mit hohem Düngbedarf und solchen mit geringerem Nährstoffanspruch entstehen. Das betrifft insbesondere die anspruchsvollen Kulturen Winterraps und Winterweizen sowie Zuckerrübe. Geht es also speziell um die Zielgröße Stickstoffdüngung ergeben sich für das Flächennutzungsmonitoring unterschiedliche Genauigkeitsanforderungen hinsichtlich der Trennung der Kulturarten. Hieraus lassen sich bei entsprechenden Zielvorgaben Wichtungen und Gruppierungen ableiten, die beispielsweise daraufhin zielen, Gruppen von Kulturpflanzen zu bilden, die ähnliche Dünggaben erhalten, oder beson-

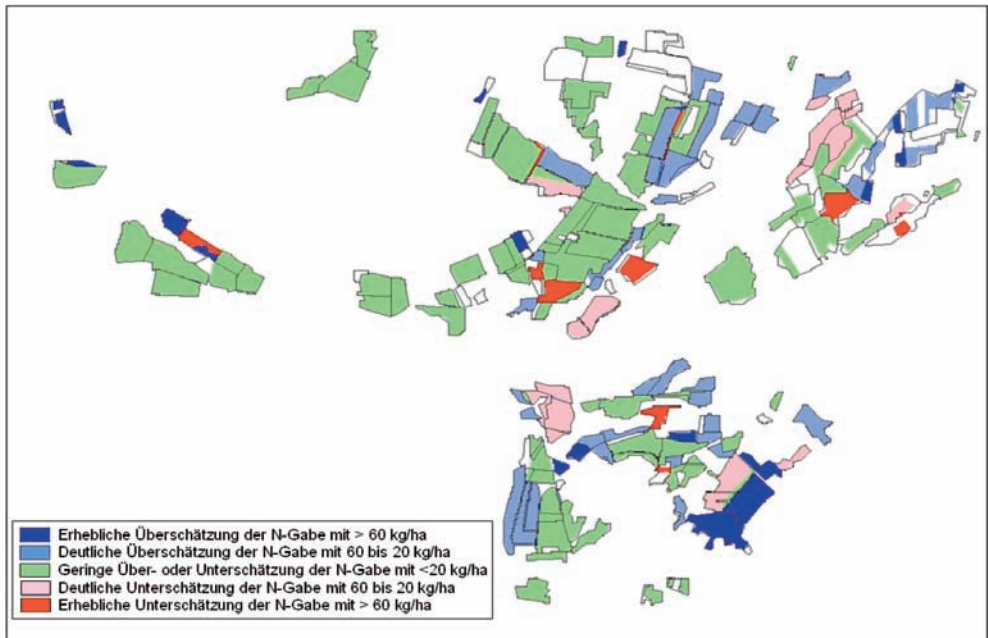


Abb. 4: Karte der Über- bzw. Unterschätzung der Stickstoffgabe für das Jahr 2000, die sich aus der Nutzung der klassifizierten an Stelle der tatsächlichen Fruchtartenverteilung ergibt.

ders solche Klassen sicher zu trennen, deren Düngegaben sich erheblich voneinander unterscheiden. Für 57 % der Fläche kann konstatiert werden, dass keine oder nur eine geringe Abweichung zur Düngeempfehlung besteht. Dieses Ergebnis wird dadurch beträchtlich aufgewertet, dass diese Angaben einen echten Schlagbezug haben.

4.3 Darstellung der Ergebnisse für Landkreise

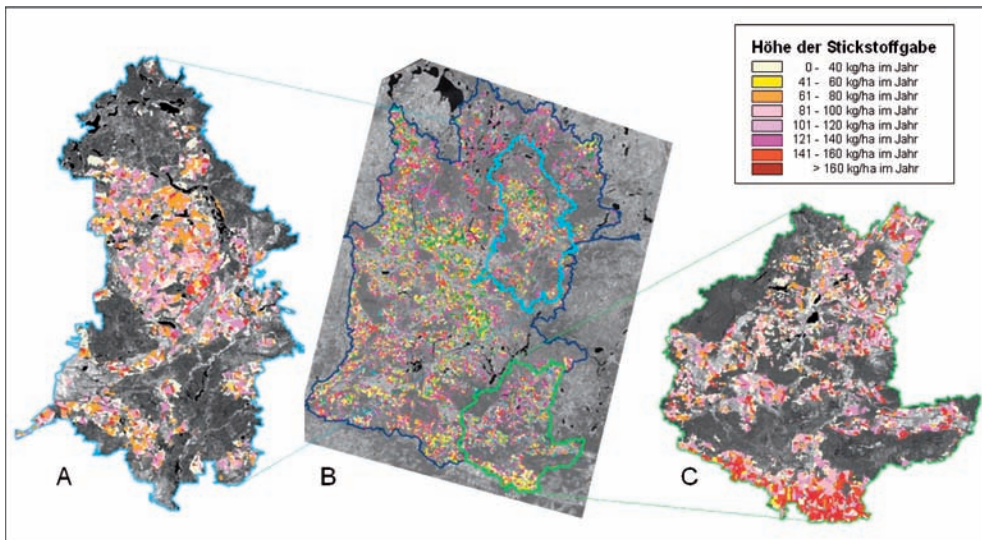
Ein weiterer Anwendungsvorteil der Geofernerkundungsmethode wird deutlich, wenn man den Aspekt des räumlichen Auflösungsvermögens betrachtet. Satellitengestützte Fernerkundungssysteme bilden in der Regel großflächig ab. Damit können großen Räumen zu einem Zeitpunkt bestimmte Eigenschaften zugeordnet werden. Im vorliegenden Beispiel wurden für das Einzugsgebiet der Havel auf der Grundlage großräumiger Flächennutzungsanalysen Düngegabeschätzungen für verschiedene Jahre vorgenommen.

Damit wurden flächen- und zeitgenaue Informationen gewonnen, die in dieser Art bisher in Statistiken nicht erfasst sind. Derzeit gilt für Düngeinformationen wie für andere statistische Daten: je höher die Verwaltungsebene, desto höher der räumliche Generalisierungsgrad der Aussagen. So existieren in den Agrargenossenschaften allgemeine durch Kultur und Landbaugesamt (Ackerwertzahl) differenzierte Düngevorgaben, die sich mehr oder weniger an die Brandenburgischen Düngeempfehlungen anlehnen (REIFENSTEIN 2004). Eine Kreisdüngestatistik hingegen existiert bisher nicht. Hier kann man lediglich auf Anbaustatistiken zurückgreifen. Erfasst werden jedoch nur die Anbauanteile (%) der einzelnen Kulturen für den gesamten Landkreis. Flächengenaue Informationen für die Bewertung der Lage-treue liegen auf dieser Ebene nicht vor. Gerade diese Lücke kann durch das vorgestellte Verfahren geschlossen werden.

Entsprechend der Darstellung der Ergebnisse auf Betriebsebene soll auch hier eine Betrachtung der ermittelten Düngegaben

Tab. 2: Vergleich der aus der Kreisstatistik und den Fernerkundungsdaten ermittelten Düngegaben (t) der Landkreise Oberhavel und Havelland für die Jahre 1999 und 2000.

Element	Landkreis Oberhavel						Landkreis Havelland					
	1999			2000			1999			2000		
	Kreisstatistik	Eigenermittlung	%	Kreisstatistik	Eigenermittlung	%	Kreisstatistik	Eigenermittlung	%	Kreisstatistik	Eigenermittlung	%
N	2757,1	3302,7	120	2798,2	3103,9	111	4829,2	5372,0	111	4868,2	4906,1	101
P	681,6	707,5	104	687,3	673,0	98	1100,0	1068,6	105	1108,5	1068,6	96
K	2607,2	2923,7	112	2620,6	3072,6	117	4369,3	4826,2	112	4384,5	4826,2	110

**Abb. 5:** Karten der aus der Klassifikation ermittelten Fruchtartenverteilung (B – Legende vgl. Abb. 3) für das Einzugsgebiet der Havel (ohne Spree) sowie der daraus abgeleiteten Verteilung der Stickstoffdüngengebe für den Kreis Oberhavel (A) und das Einzugsgebiet der Nuthe (C) für das Jahr 2000.

angeschlossen werden. Zum Vergleich wurde eine eigens durchgeführte Berechnung des Landesamtes für Verbraucherschutz und Flurneuordnung des Landes Brandenburg herangezogen. Die Düngemengen der Kreise für Stickstoff, Phosphor und Kalium werden basierend auf betriebsbezogenen Angaben geschätzt. Darin gehen die Angaben des Betriebes über die Anbaufläche der einzelnen Kulturen ein, die mit der Düngeempfehlung entsprechend der mittleren Ackerwertzahl des jeweiligen Betriebes verknüpft wurden. Die Schätzung ist also los-

gelöst von der flächentreuen Anbindung der Information. Schon hier zeigt sich die Überlegenheit einer Methode, die Fernerkundungsdaten integriert und ermittelte Werte genau angewendet wird. Die errechneten Werte wurden zu den aus den Fernerkundungsdaten abgeleiteten Düngegaben in Bezug gesetzt. Diese wurden für jeden Schlag der Kreise Oberhavel und Havelland nach der Ermittlung der Kultur durch Zuweisung der Düngemenge entsprechend der Empfehlung des Landes Brandenburg in Abhängigkeit von der Bodengüte (Landbaugebiet) gewon-

nen. Für das bereits charakterisierte Jahr 2000 (siehe Tab. 2) und das Vorjahr 1999, in dem sowohl die ungünstige Witterung als auch die Anzahl und Aufnahmetermine der Satellitendaten die Ergebnisqualität beeinflussten, ergab sich eine relativ gute Übereinstimmung. Erwartungsgemäß tritt der größere Unterschied im Jahr 1999 auf. Hier bilden sich die oben erwähnten Probleme ab. Winterroggen wird teilweise als Wintergerste identifiziert, was zu erhöhten Düngeannahmen (z. B. 14 kg/ha im LBG III) führt. Der Landkreis Oberhavel ist eher durch grundwasserferne Standorte gekennzeichnet. Für ihn wurden, bedingt durch Trockenstresserscheinungen, auf extremen Standorten mehr Fehlklassifikationen verzeichnet, was auch hier zu etwas höheren Abweichungen der Werte führt. Die aus beiden Ansätzen ermittelten Zahlen sind ohne weiteres als gleichwertig anzusehen. Die im Fernerkundungsansatz ermittelten Werte charakterisieren die Größenordnungen der Kreisstatistik. Ursachen für die Abweichung von maximal 20 % können sowohl die der Klassifizierung innewohnenden Fehler als auch der gewählte Schätzansatz auf Basis der Kreisstatistik, der auf Anteilen und Mittelwerten beruht, sein.

Ein weiterer Vorteil der Methodik liegt darin, dass verschiedenste Raumbezüge hergestellt werden können (vgl. Abb. 5). Während bisher in der Raumplanung Betrachtungsräume durch administrative Grenzen definiert wurden, setzt sich immer mehr die Erkenntnis durch, dass Analysen, Diagnosen und Prognosen bezogen auf Naturraumgrenzen vorgenommen werden müssen. Das berücksichtigen moderne Ansätze zunehmend. So setzt die europäische Wasserrahmenrichtlinie beim Einzugsgebiet an und nicht bei Staats- und Landesgrenzen. Die vorgestellte Methode trägt dieser Tatsache Rechnung, indem der Raumausschnitt jederzeit durch entsprechende Masken in interessierende Teilräume bis hin zur Raumeinheit des Schlages aufgegliedert werden kann. Differenziert betrachtet werden können beispielsweise Teilräume, die sich aus Naturraumgrenzen (Flusseinzugsgebiete etc.), administrativen Untereinheiten

(Kreisebene, Gemeindeebene etc.), unterschiedlichen ökonomischen Bewertungen (nach Landbaugebiet, nach Wirtschaftsweise etc.), ökologischen Sensibilitäten (Naturschutzkategorien, Trinkwasserschutzzonen etc.) und sozialen Rahmenbedingungen (Förderprogramme, Ausgleichszahlungen etc.) ergeben. Das macht den qualitativen Sprung im Ansatz aus. Die Fernerkundungsmethode kann somit administrativ und naturräumlich verankerte Informationen verknüpfen und die Lücke zwischen beiden schließen helfen. So zeigt Abb. 5 die räumliche Bezugseinheit „Einzugsgebiet“ als Basis und die untergeordneten Raumeinheiten „Landkreis“ (administrativ) und „Teileinzugsgebiet“ (naturräumlich). Es ist also nicht nur möglich, Angaben und Aussagen über die Stickstoffdüngegaben für das Einzugsgebiet als Ganzes, sondern z. B. über die Stickstoffgaben für Teileinzugsgebiete, für einzelne Landkreise und/oder für Anteile eines Landkreises in einem Teileinzugsgebiet zu machen. In der gängigen behördlichen Praxis ist das Erstellen flächennutzungsbezogener Aussagen immer dann sehr aufwendig, sobald sie flächengenau oder im Naturraumbezug erfolgen sollen. Flächengenauere Informationen liegen bestenfalls kleinräumig vor. Naturräumliche Grenzen spielen in der Datenerfassung momentan eine untergeordnete Rolle. Es existieren keine klaren Verantwortungsbereiche und oft wird die Erfassung durch administrative Strukturen zerstückelt.

5 Diskussion

Unabhängig von der Bewertung der Vorzüge des Verfahrens (ITZEROTT & KADEN 2007) soll abschließend explizit noch einmal auf die Anwendungsvorteile der Fernerkundung beim Flächennutzungsmonitoring verwiesen werden.

Landschaftsplanung ist heute als eine auf verschiedenen politisch-administrativen Raumebenen verankerte Aufgabe zentraler Entwicklungssteuerung anzusehen. Das Spektrum reicht dabei von global bis lokal und liegt z. B. bei der UNESCO, der EU, den Bundesministerien der BRD, den Bun-

desländern, Landkreisen und Gemeinden. Diese Ebenen haben ihre speziellen administrativen Bezugseinheiten geschaffen und zur Basis ihres Handelns gemacht. Nicht für alle komplexen Fragestellungen sind diese Raumeinheiten optimal geeignet. Immer häufiger verlangen Lösungsansätze im Themenbereich der Flächennutzung die Berücksichtigung von Grenzen im Natur- und Wirtschaftsraum. Ein exakterer Raumbezug wird notwendig, der den gegenwärtigen Anforderungen, die aktuelle Nutzung besser an die naturräumliche Ausstattung zu knüpfen, gerecht wird. Ein Flächennutzungsmonitoring auf Fernerkundungsbasis eignet sich als Mittler zwischen administrativen und natürlichen Bezugsräumen. Ein weiterer Vorteil liegt in der jährlichen Wiederholbarkeit der Erhebung. Nur auf dieser Basis lässt sich ein Monitoringeffekt begründen. Flächennutzungswechsel und Entwicklungsdifferenzierungen sind abbildbar. Sie stehen für eine wirklichkeitsnahe Abbildung und sind unabdingbar für realistische Vorhersagemodelle und Szenarien.

Das vorliegende Beispiel konnte zeigen, dass die raumkonkrete Abschätzung der jährlichen Düngegabe auf der Grundlage eines fernerkundungsbasierten Flächennutzungsmonitorings möglich ist. Das zentrale Kriterium für die Ergebnisqualität ist die Güte der Nutzungserfassung. Im vorgestellten Ansatz wurde diese auf Grundlage von spektralen Normkurven realisiert. Für einzelne Jahre konnten im Vergleich zu herkömmlichen Verfahren durchaus vergleichbare Klassifizierungsgenauigkeiten erzielt werden (BRENNING et al. 2006). Im Fall von Jahren mit sehr ungünstigem Witterungsgeschehen zeichnete sich auf Grenzstandorten landwirtschaftlicher Produktion ab, dass eine Normkurve je Kultur als zu unspezifisch angesehen werden muss. Ein zusätzliches Problem ergibt sich aus der Ähnlichkeit im phänologischen Ablauf der Kulturen. Ihre exakte Trennung in einer Klassifizierung erfordert unabhängig vom Verfahren die Verwendung bestimmter geeigneter Aufnahmezeitpunkte. Liegen diese nicht vor, ist die Klassifizierungsgüte grundsätzlich eingeschränkt. Das gilt genauso für Klassifizie-

rungsverfahren mit anderen Ansätzen, ist also kein dem Verfahren innewohnendes Problem. Somit liegen Potenzen zur Verbesserung der Ergebnisqualität zum einen in der Verdichtung der Aufnahmefolgen durch verkürzte Wiederkehrzeiten (in zukünftigen Satellitenmissionen wie RapidEye oder EnMAP) und zum zweiten in der Berücksichtigung wachstumsdifferenzierender Naturraumbedingungen (natürliche Wasserverfügbarkeit und Bodengüte) und Bewirtschaftungsmaßnahmen (Bewässerungsmaßnahmen, Düngemanagement) durch spezifizierte Normkurven. Als dritter Aspekt kann die Nutzung von Hyperspektralinformationen zukünftiger Sensoren (EnMAP) zur Ableitung der phänologischen Zustandsinformation aus dem Satellitendatensatz Eingang ins Verfahren finden.

Monitoringaufgaben, die Gegenstand der administrativen Umweltüberwachung sind, verlangen einen exakten Raum- und Zeitbezug der relevanten Parameter. Dieser Forderung kann nur durch universelle Klassifizierungsansätze mit übertragbaren Entscheidungsregeln nachgekommen werden. Die Entwicklung eines Ansatzes zur Verwendung spektraler Normkurven berücksichtigt diesen Fakt. Das hier vorgestellte Verfahren erweist sich als durchaus praktikabel.

Eine hohe Güte der Klassifizierung ermöglicht ohne weiteres eine Verknüpfung mit Kenngrößen, die mit der Flächennutzungsdynamik korrespondieren. Oft muss hier wie auch in allen anderen Verfahren insbesondere bei großflächigen Betrachtungen von konkreten Werten abstrahiert werden. Im Fall der Düngung wurde mit standardisierten Düngerichtwerten gearbeitet. Trotz dieses Kompromisses können durch den exakten Raum- und Zeitbezug des Ergebnisses deutlich realitätsnähere Düngegeschätzungen als Eingangsparameter in Nährstoffbilanzmodelle bereitgestellt werden.

Ein wesentliches Ziel der Grundlagenforschung in der Fernerkundung muss darin bestehen, praxisrelevante Ergebnisse zu erzielen. Das erfordert, die Vorteile in der Raum- und Zeitauflösung der Daten in eine kontinuierliche Überwachung von Prozes-

sen im Umweltbereich zu überführen. Das vorgestellte Verfahren leistet dadurch, dass es die Forderung nach Übertragbarkeit der Klassifizierungsregeln aufnimmt, unter Berücksichtigung der genannten Potenzen für die Weiterentwicklung des Verfahrens einen beachtenswerten Beitrag zur Entwicklung von stabilen Monitoringsystemen.

Danksagung

Diese Arbeit wurde im Rahmen des Forschungsprojektes „Bewirtschaftungsmöglichkeiten im Einzugsgebiet der Havel“ durchgeführt (BRONSTERT & ITZEROTT 2006) und vom BMBF unter dem Kennzeichen 0330227 gefördert. Gedankt sei insbesondere Herrn Dr. Neubert für die Bereitstellung der Düngeschätzung auf Kreisebene sowie den Gutachtern für die wertvollen Hinweise zur Überarbeitung des Manuskripts.

Literatur

- BRENNING, A., KADEN, K. & ITZEROTT, S., 2006: Comparing classifiers for crop identification based on multitemporal Landsat TM/ETM data. – 2nd Workshop of the EARSeL Special Interest Group on Land Use & Land Cover, CD-ROM.
- CHEN, Q., ZHANG, Y., EKROOS, A. & HALLIKAINEN, M., 2004: The role of remote sensing technology in the EU water framework directive (WFD). – *Environmental Science & Policy* 7: 267–276.
- CLEVERS, J., VONDER, O., JONGSCHAAP, R., DESPRATS, J., KING, C., PREVOT, L. & BRUGIER, N., 2000: Monitoring wheat growth by calibrating a crop growth model using optical satellite data. – *Geophysical Research Abstracts, Hydrology and Earth System Sciences* 2: 424–429.
- BADHWAR, G.D., 1984: Use of LANDSAT-derived profile features for spring small-grains classification. – *International Journal Remote Sensing* 5 (5): 783–797.
- BRD, 2001: Gesetz zum Schutz vor schädlichen Bodenveränderungen und zur Sanierung von Altlasten. – Bundes-Bodenschutzgesetz-BodSchG, zuletzt geändert am 09.09.2001.
- BRD, 2007: Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (DüV). – Zuletzt geändert am 27.02.2007.
- BRONSTERT, A. & ITZEROTT, S., 2006: Bewirtschaftungsmöglichkeiten im Einzugsgebiet der Havel – Abschlussbericht zum BMBF-Projekt. – Brandenburgische Umweltberichte, Band 18, Potsdam.
- DOBERS, E.S., 2002: Verfahren der Standorterkundung für den standortspezifischen Ackerbau. – *Göttinger Bodenkundliche Berichte* 115, 226 S., Göttingen.
- DWD, 1991 – 2000: Agrarmeteorologischer Wochenbericht für Mecklenburg-Vorpommern, Brandenburg und Berlin. – Deutscher Wetterdienst, Wetteramt Potsdam.
- ITZEROTT, S. & KADEN, K., 2006: Ein Algorithmus zur Klassifizierung landwirtschaftlicher Fruchtarten anhand spektraler Normkurven als Alternative zu überwachten Verfahren auf Basis von Trainingsgebieten. – *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation* 6/06: 509–518.
- ITZEROTT, S. & KADEN, K., 2007: Gütebewertung für die Klassifizierung landwirtschaftlicher Fruchtarten aus spektralen Normkurven. – *Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation* 2/07: 109–120.
- JACOBS, J., 2006: Entwicklung von Landschaftsszenarien für die Bewirtschaftung von Flusseinzugsgebieten nach den Anforderungen der EU-Wasserrahmenrichtlinie. – Dissertation, Universität Potsdam, Institut für Geoökologie.
- EKHOLM, P., KALLIO, K., SALO, S., PIETILAINEN, O.-P., REKOLAINEN, S., LAINE, Y. & JOUKOLA, M., 2000: Relationship between catchment characteristics and nutrient concentrations in an agricultural river system. – *Water Research* 34 (15): 3709–3716.
- EU (2000): Richtlinie 2000/60/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. – *Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaft L* 327: 1–72.
- FERRIER, R.C., WHITEHEAD, P.G., SEFTON, C., EDWARDS, A.C. & PUGH, K., 1995: Modelling impacts of land use and climate change on nitrate-nitrogen in the river Don, North-East Scotland. – *Water Research* 29 (8): 1950–1956.
- GUERIF, M., BLÖSER, B., ATZBERGER, C., CLASTRE, P., GUINOT, J.P. & DELECOLLE, R., 1996: Identification de parcelles agricoles à partir de la forme de leur évolution radiométrique au cours de la saison de culture. – *Photo-Interpretation* 1: 12–22.
- HAASE, G., BARSCH, H., HUBRICH, H., MANNFELD, K. & SCHMIDT, R., 1991: Naturraumerkundung und Landnutzung – Geochorologische Verfahren zur Analyse, Kartierung und

- Bewertung von Naturräumen. – Akademie Verlag, Berlin.
- KALLURI, S., GILRUTH, P. & BERGMAN, R., 2003: The potential of remote sensing data for decision makers at the state, local and tribal level: experiences from NASA's Synergy program. – *Environmental Science & Policy* **6**: 487–500.
- KING, C., LECOMTE, V., LE BISSONNAIS, Y., BAGHDADI, N., SOUCHÈRE, V. & CERDAN, O., 2005: Remote-sensing data as an alternative input for the STREAMT runoff model. – *Catena* **62**: 125–135.
- MARACCHI, G., PÉRARNAUD, V. & KLESCHENKO, A.D., 2000: Applications of geographical information systems and remote sensing in agrometeorology. – *Agricultural and Forest Meteorology* **103**: 119–136.
- MARTINEZ-CASASNOVAS, J.A., MARTIN-MONTEIRO, A. & CASTERAD, M.A., 2005: Mapping multi-year cropping patterns in small irrigation districts from time-series analysis of Landsat TM images. – *European Journal of Agronomy* **23**: 159–169.
- NEARING, M.A., JETTEN, V., BAFFAUT, C., CERDAN, O., COUTURIER, A., HERNANDEZ, M., BISSONNAIS, Y., NICHOLS, M.H., NUNES, J.P., RENSCHLER, C.S., SOUCHÈRE, V. & VAN OOST, K., 2005: Modeling response of soil erosion and runoff to changes in precipitation and cover. – *Catena* **61**: 131–154.
- OENEMA, O., BOERS, P.C.M., VAN EERDT, M.M., FRATERS, B., VAN DER MEER, H.G., ROEST, C.W.J., SCHRÖDER, J.J. & WILLEMS, W.J., 1998: Leaching of nitrate from agriculture to groundwater: the effect of policies and measures in the Netherlands. – *Environmental Pollution* **102**, S 1: 471–478.
- OPPELT, N., 2002: Monitoring of Plant Chlorophyll and Nitrogen Status Using the Airborne Imaging Spectrometer AVIS. – Dissertation, LMU München: Fakultät für Geowissenschaften.
- REIFENSTEIN, V., 2004: Analyse der Umsetzung der Düngerahmenempfehlung des Landes Brandenburg für Stickstoff in drei Landwirtschaftsbetrieben im Havel Einzugsgebiet. – Diplomarbeit, Potsdam.
- SMITH, C.S. & MC DONALD, G.T., 1998: Assessing the sustainability of agriculture at the planning stage. – *Journal of Environmental Management* **52**: 15–37.
- SMITH, C.S., MC DONALD, G.T. & THWAITES, R.N., 2000: TIM: Assessing the sustainability of agricultural land management. – *Journal of Environmental Management* **60**: 267–288.
- SOUCHÈRE, V., KING, C., DUBREUIL, N., LECOMTE-MOREL, V., BISSONNAIS, Y., & CHALAT, M., 2003: Grassland and crop trends: role of the European Union Common Agricultural Policy and consequences for runoff and soil erosion. – *Environmental Science & Policy* **6**: 7–16.
- SOUCHÈRE, V., CERDAN, O., DUBREUIL, N., BISSONNAIS, Y. & KING, C., 2005: Modelling the impact of agri-environmental scenarios on runoff in a cultivated catchment (Normandy, France). – *Catena* **61**: 229–240.
- STICKSEL, E., SCHÄCHTL, J., HUBER, G., LIEBLER, J. & MAIDL, F., 2004: Diurnal Variation in Hyperspectral Vegetation Indices Related to Winter Wheat Biomass. – *Precision Agriculture* **5** (5): 509–520.
- STROPPIANA, D., BOSCHETTI, M., CONFALONIERI, R., BOCCHI, S. & BRIVIO, P.A., 2005: Analysis of hyperspectral field radiometric data for monitoring nitrogen concentration in rice crops. – *SPIE Proceedings: Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology VII*.
- TAPIADOR, F.J. & CASANOVA, J.L., 2003: Land use mapping methodology using remote sensing for the regional planning directives in Segovia, Spain. – *Landscape and Urban Planning* **62**: 103–115.
- VAN DER VLIST, M.J., 1998: Land use planning in the Netherlands; finding a balance between rural development and protection of the environment. – *Landscape and Urban Planning* **41**: 135–144.
- WECHSUNG, F., KRYSANOVA, V., FLECHSIG, M. & SCHAPHOFF, S., 2000: May land use change reduce the water deficiency problem caused by reduced brown coal mining in the state of Brandenburg? – *Landscape and Urban Planning* **51**: 177–189.
- WEICHERT, A., 2004: Erfassung des Bodeneinflusses auf die phänologische Entwicklung von Winterroggen mit multitemporalen Fernerkundungsdaten. – Diplomarbeit, Freiberg.
- Anschriften der Autoren:
- Dr. SIBYLLE ITZEROTT, GeoForschungsZentrum Potsdam, Sektion Fernerkundung, Telegraphenberg A 17, D-14473 Potsdam, Tel.: +49 -331-2881107, Fax: +49 -331-2881192, e-mail: itzerott@gfz-potsdam.de
- Dr. KLAUS KADEN, Universität Potsdam, Institut für Geoökologie, Karl-Liebknecht-Strasse 24-25, D-14476 Potsdam, Tel.: +49 -331-9772107, Fax: +49-331-9772092, e-mail: kkaden@rz.uni-potsdam.de
- Manuskript eingereicht: Juni 2007
Angenommen: Januar 2008

Ringstrukturen in Nord-Deutschland

BARBARA THEILEN-WILLIGE, Stockach & GÖTZ SCHNEIDER, Stuttgart

Keywords: Remote sensing, SRTM, LANDSAT, GIS, geology, ring structures

Summary: *Ring Structures in Northern Germany.*

This paper focuses on geologic investigations of Shuttle Radar Topography (SRTM 2000) and LANDSAT ETM data from Northern Germany, especially from the Lübeck (Schleswig-Holstein), Salzwedel (Sachsen-Anhalt), and Schwerin (Mecklenburg-Vorpommern) area, for the detection of subsurface structures. Circular structures and linear, topographic features become clearly visible on SRTM derived morphometric maps and on LANDSAT imageries that are obviously related to halokinetic structures and tectonic features in the subsurface.

Zusammenfassung: LANDSAT ETM Daten und

digitale Höhendaten auf der Basis der Shuttle Radar Topography Mission (SRTM 2000) von Nord-Deutschland, insbesondere vom Gebiet um Lübeck, Schwerin und Salzwedel wurden mit Methoden der digitalen Bildverarbeitung aufbereitet und zusammen mit anderen Geodaten in ein Geografisches Informationssystem (GIS) integriert. Die Auswertung der verschiedenen Bild- und Kartenprodukte wie simulierte Reliefdarstellungen, Hangneigungskarten, Karten der Geländewölbungen, etc. liefern deutliche Hinweise auf Ringstrukturen im Untergrund Nord-Deutschlands, die sich mit Salzstrukturen im Untergrund in Verbindung bringen lassen. So ist auf SRTM basierten morphometrischen Karten und auf LANDSAT-Aufnahmen in der Seenlandschaft nordöstlich von Schwerin eine ringförmige Struktur mit konzentrisch angeordneten Tälern und Erhebungen zu erkennen.

1 Einleitung

Die Bearbeitungen und Auswertungen digitaler Höhendaten, die seit der Shuttle Radar Topography Mission (SRTM 2000) weltweit zur Verfügung stehen, haben auch in Deutschland das Spektrum geomorphologischer und strukturgeologischer Untersuchungen erheblich erweitert. Durch morphometrische Karten auf der Basis von SRTM Daten wie simulierten Reliefdarstellungen, Hangneigungskarten oder Wölbungskarten werden oberflächennahe Untergrundstrukturen häufig deutlicher sichtbar, als es mit bisherigen vergleichbaren Datensätzen der Fall war. Dies gilt selbst für das flache Norddeutsche Tiefland. Auf morphometrischen Karten und LANDSAT-

Aufnahmen sind hier ringförmige Strukturen mit konzentrisch angeordneten Tälern und Erhebungen zu erkennen. Deren Entstehung lässt sich offensichtlich mit Salzstrukturen im Untergrund in Verbindung bringen. Im Rahmen dieser Untersuchungen werden Ringstrukturen in der Umgebung der Städte Lübeck, Schwerin und Salzwedel näher untersucht.

2 Geologische Situation

Salzformationen des Perms und der Trias, die vor mehr als 200 Millionen Jahren entstanden sind, gerieten im Untergrund Nord-Deutschlands als massenbeweglicher, duktil verformbarer und relativ „leichter“ Gesteinsverband durch Scherspannung in Be-

wegung. Die Salinargesteine sind unter den erhöhten Druck- und Temperaturbedingungen des post-triassischen Deckgebirges kriechfähig geworden und aus Tiefen über 5000 m teilweise bis an die Erdoberfläche aufgestiegen. Die antreibende Kraft für den Aufstieg von Salzgesteinen in das nichtsalinare Deckgebirge ist die Schwerkraftwirkung bedingt durch Dichteunterschiede zwischen dem spezifisch leichteren Steinsalz im tieferen Untergrund und seiner spezifisch schwereren Bedeckung. Auslösend können auch tektonische Bewegungen an der Basis der Salzgesteine gewesen sein (KOCKEL & KRULL 1995, BGR 2007). Die Salzgesteine erreichten zunächst über das beulenartige Salzkissenstadium in mehreren Schüben schließlich Diapirform. Dabei haben die ursprünglich flach lagernden Schichtverbände komplizierte Lagerungsformen angenommen, deren Deformation rheologischen Gesetzmäßigkeiten folgt.

In der mitteleuropäischen Senke können zwei Hauptrichtungen bei der Anordnung der gestreckten Salzdiapire unterschieden werden: Eine NNE bis N-gerichtete Salzachse, welche mit spätriassisch-jurassischen Extensionsstrukturen zu korrelieren ist und eine WNW bis NW-gerichtete Salzachse, welche kretazischen Kompressionsstrukturen zu zuordnen ist (BALDSCHUHN et al. 1985). Zu vermuten ist, dass es mindestens zwei Phasen starken Salzaufstiegs gegeben hat: eine distensive im Keuper-Jura und eine kompressive während Oberkreide und Alttertiär. Seit der letzten Enteisung erfolgt eine Rückströmung in der Mantel-Asthenosphäre – glaziosostatische Bewegungen. Die Senke dieses Prozesses liegt im Bottnischen Meerbusen und dem umgebenden Fennoskandien. Von Süden her greift die Plattenbewegung Afrikas über die Adria-Platte, die Alpen und die variszischen Schollen als System Oberkruste-Unterkruste bis ins nördliche Mitteleuropa durch.

Ogleich direkte Hinweise auf den Salzaufstieg an der Erdoberfläche Nord-Deutschlands selten zu beobachten sind (LANGER & SCHÜTTE 2002), haben sich Salzstöcke dort nachweislich auch noch seit der letzten Überdeckung mit eiszeitlichen Ablä-

gerungen nachträglich bewegt. An der Oberfläche wurden durch halokinetische Bewegungen und Salzauslaugung einzelne Bereiche gehoben, andere senkten sich. Geringe halokinetische Bewegungen und subrosive Vorgänge sind zum Teil an der Quartär-Basis nachweisbar (KATZUNG 2004). Mit Erreichen der Grundwasserzonen werden die eigentlichen Salze an der Oberkante der Strukturen ausgelaugt; es bleibt ein Rückstand von schwerer löslichen Mineralen (vor allem Anhydrit und Gips) übrig. Dieser „Gipshut“ kann bis über die Oberfläche herausgedrückt werden (z. B. Segeberg, Lüneburg). Meistens herrschen aber Senkungen vor, und es können sich sogar Auslaugungs-Seen bilden (z. B. Arendsee in der nördlichen Altmark). Stärkere Bewegungen sind offenbar auf Salzstrukturen beschränkt, die entlang tektonischer Schwächezonen aufgedrungen sind. So zeigen z. B. im Gebiet von Plön, Schleswig-Holstein wiederholte Feinnivellements Hebungsbeiträge von bis 0,6 mm/Jahr und Senkungsbeiträge von 0,4 mm/Jahr, was auf eine rezente Aktivität der dortigen Störungszonen hindeutet (LEHNE & SIROCKO 2007, SIROCKO et al. 2002). Von diesen Autoren wird eine Interaktion zwischen Tiefenstrukturen, der Salzmobilität und quartärer Eisauflast, also glazio-isostatische Ausgleichsbewegungen, angenommen.

3 Arbeitsmethodik

Methoden der Fernerkundung, der digitalen Bildverarbeitung und angewandten Bildinterpretation wurden im Rahmen dieser Arbeit auf ihre Einsatzmöglichkeiten bei der Erfassung von Untergrundstrukturen untersucht. Dazu wurden LANDSAT ETM, TM und ältere MSS-Daten aus den 70-er Jahren in Kombination mit topographischen und geologischen Daten im Geoinformationssystem (GIS) ausgewertet. Zur digitalen Bildverarbeitung der LANDSAT ETM- und SRTM Daten wurde das Programm ENVI 4.3 der Fa. CREASO verwendet, für die GIS Applikationen ArcView GIS 3.3 und ArcGIS 9.2 mit dem GIS-Erweiterungsprogrammen Spatial Analyst

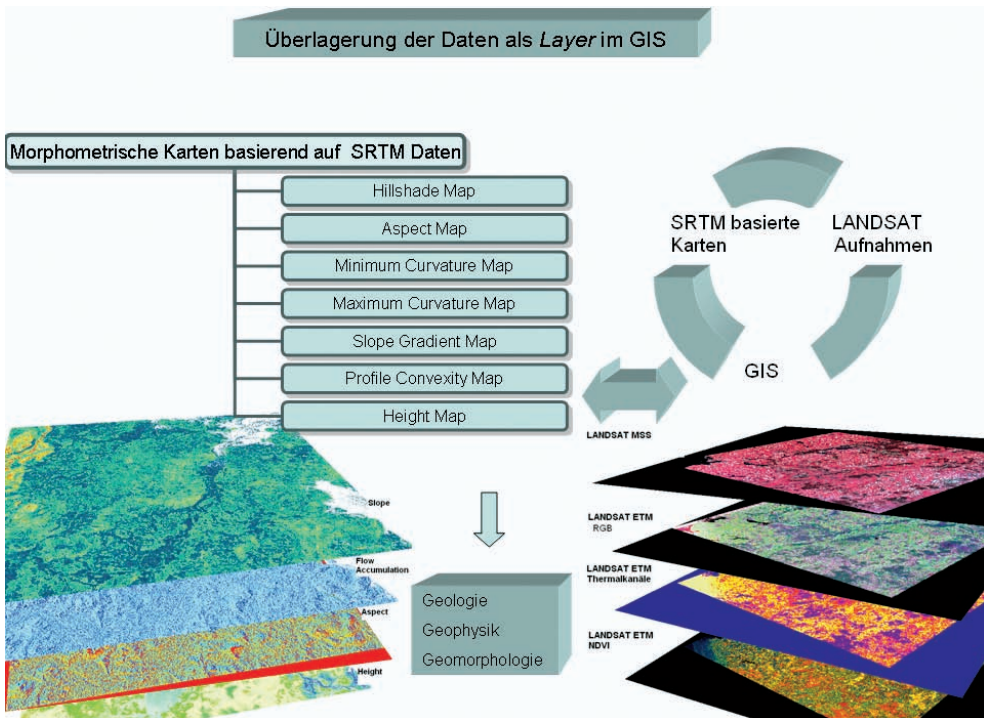


Abb. 1: Überlagerung von LANDSAT- und SRTM Daten im GIS.

und 3D-Analyst der Fa. ESRI sowie die ArcHydro-Tools. Ziel der Bildverbesserungen war die Hervorhebung von geologischen Strukturen (Bruch- und Störungszonen) im Untergrund, um deren Kartierbarkeit zu verbessern.

Ausgangspunkt für die digitale Reliefanalyse bildete das Digitale Höhenmodell, das auf der Basis von SRTM Daten mit 90 m räumlicher Auflösung gewonnen wurde. Dieses DEM diente für die Ableitung verschiedener Reliefparameter wie der Hangneigung, Exposition, sowie der Oberflächenwölbung und deren richtungsabhängige Komponenten, der Horizontalwölbung bzw. Vertikalwölbung. Im Rahmen dieser Studie sollen die zeitgleich und mit demselben Aufnahmesystem über weite Gebiete Nord-Deutschlands gewonnenen SRTM Höhendaten dazu genutzt werden, durch die Analyse von Reliefparametern wie Hangneigungen, Wölbungen oder des Gewässernetzes Informationen über Untergrund-

strukturen abzuleiten. So können z. B. lineare Anomalien auf Hangneigungskarten oder Wölbungskarten Hinweise auf den strukturgeologischen Aufbau liefern: in der Regel auf tektonische Bruch- und Verwerfungszonen. Abb.1 verdeutlicht schematisch die Verknüpfung der verschiedenen Daten im GIS, Abb.2 die Kartierung von linearen Reliefelementen, die Rückschlüsse auf Untergrundstrukturen ermöglichen. Lineare Verläufe von Höhenlinien entlang von Höhenrücken und Tälern dienen dabei als einer der Indikatoren für den Einfluss von Untergrundstrukturen auf die Reliefentwicklung. Geradlinige und parallele Geländestufen und Täler zeichnen in der Regel Untergrundstrukturen nach. Geodätische Feinnivellements, die Hebungs- und Absenkungsbewegungen dokumentieren, bilden dafür weitere Indikatoren.

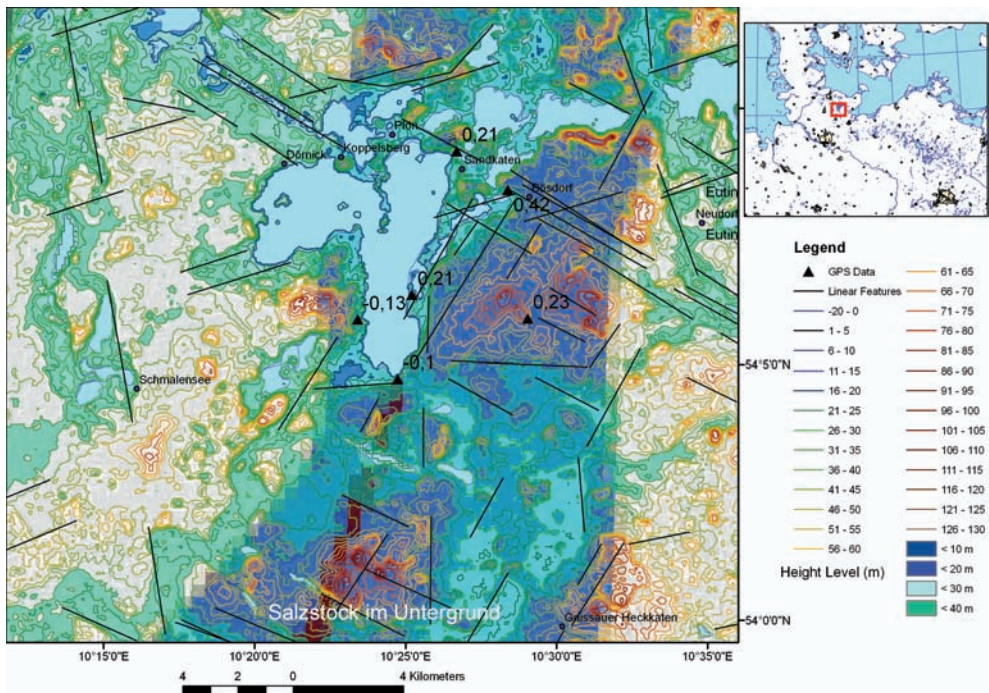


Abb. 2: Korrelation der Kartierung linearer Reliefelemente mit Geodätischen Feinnivellements (Hebungs- und Absenkungsbeträge in mm/Jahr nach Landesvermessungsamt Schleswig Holstein; LEHNE & SIROCKO 2007) zur Verdeutlichung des Einflusses von Untergrundstrukturen auf die Reliefentwicklung.

4 Ringstrukturen in Nord-Deutschland

Bei einer ersten Analyse von SRTM Daten zeigten sich ringförmige Anomalien, die mit Hilfe von Farbkodierungen noch deutlicher hervorgehoben werden konnten. In Abb. 3 ist eine Höhengschichtenkarte zu sehen, auf der sich die ringförmigen Strukturen durch Höhenunterschiede und kreisförmige Senken abzeichnen. Letztere werden von konzentrisch angeordneten Tälern eingerahmt. Besonders deutlich ausgeprägt sind die Ringstrukturen bei Lübeck und Schwerin.

4.1 Ringstruktur von Lübeck

Bei Lübeck ist auf der Höhengschichtenkarte (siehe Abb. 3 und 4) eine kreisförmige Senke mit etwa 20 km Durchmesser zu erkennen. Auch in der Nordhälfte der Senke ist trotz der Abrasionswirkung der während der letz-

ten Eiszeit von Norden in die Lübecker Bucht eingedrungenen pleistozänen Inlandgletscher eine konzentrische Anordnung ersichtlich. Abb. 5 zeigt die Lage der bekannten Salzkissen und Salzdome im Gebiet der Ringstrukturen von Lübeck und Schwerin. Unter der Lübecker Bucht befindet sich ein größeres Salzkissen. Offenbar pausen sich hier Spuren der Salztekonik bis zur Oberfläche durch. Es ist anzunehmen, dass subrosive Prozesse zur Bildung der Senke um Lübeck beigetragen haben, die dann später durch das Inlandeis weiter ausgeformt wurden. (Subrosion: Aus- und Ablaugeprozesse eines Salzkörpers setzen ein, sobald die Salzgesteine mit Grundwasser in Berührung kommen.) Die Lübecker Ringstruktur wird von linear und parallel angeordneten Tiefenlinien in WSW-ENE- und NNW-SSE-Richtung durchzogen. Diese linearen Reliefelemente wurden als Lineationen im GIS kartiert. Besonders die WSW-

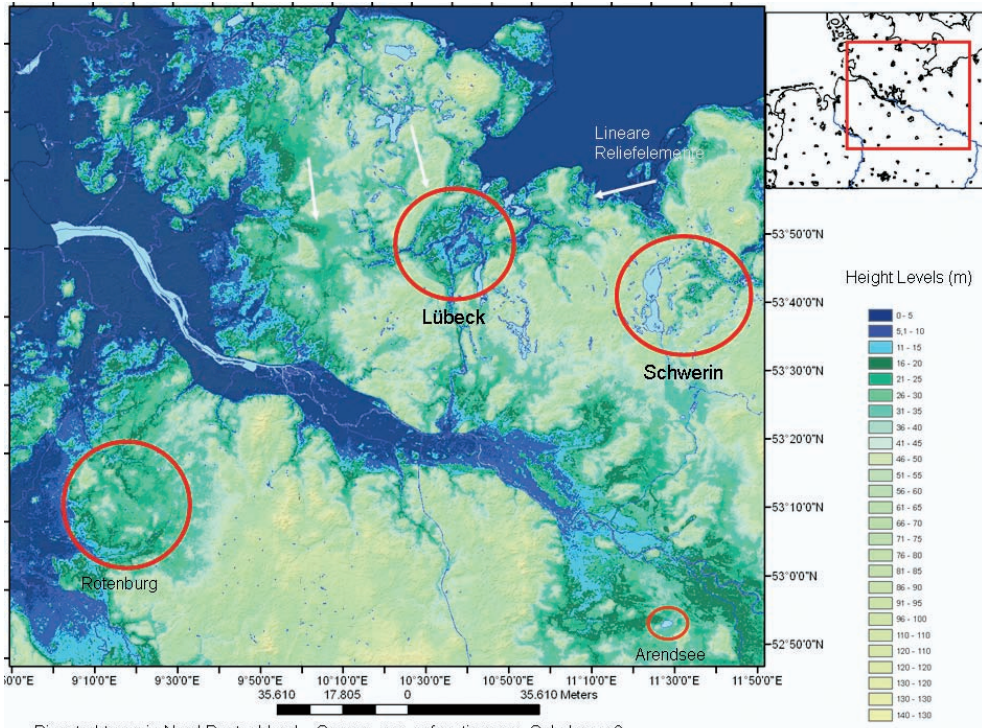


Abb. 3: Höhengichtenkarte Nord-Deutschlands.

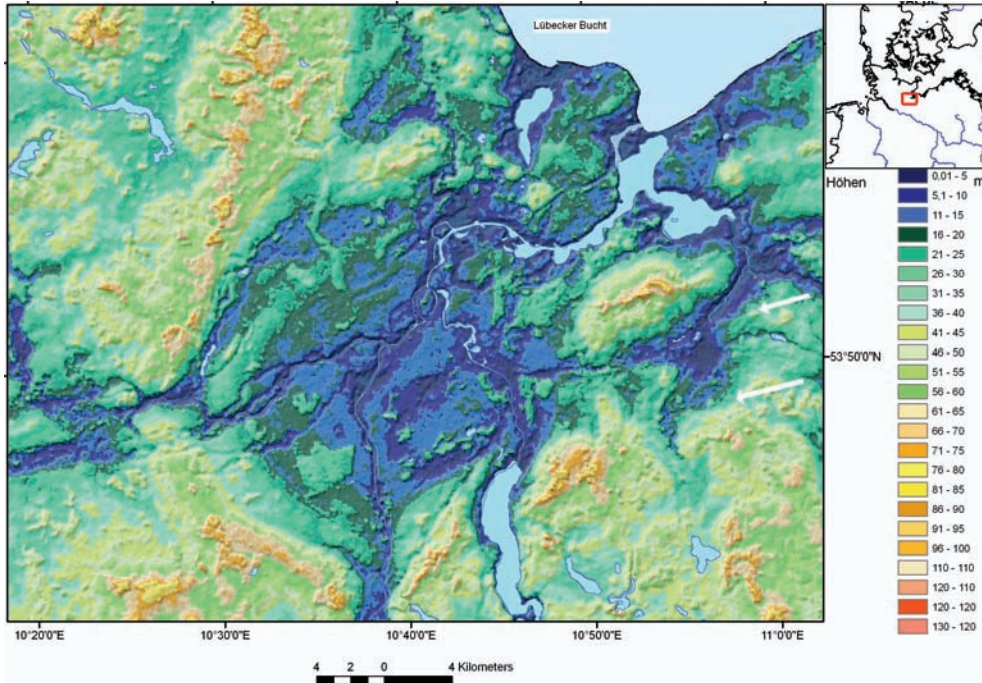


Abb. 4: Ringförmige Senke und lineare Reliefelemente bei Lübeck.

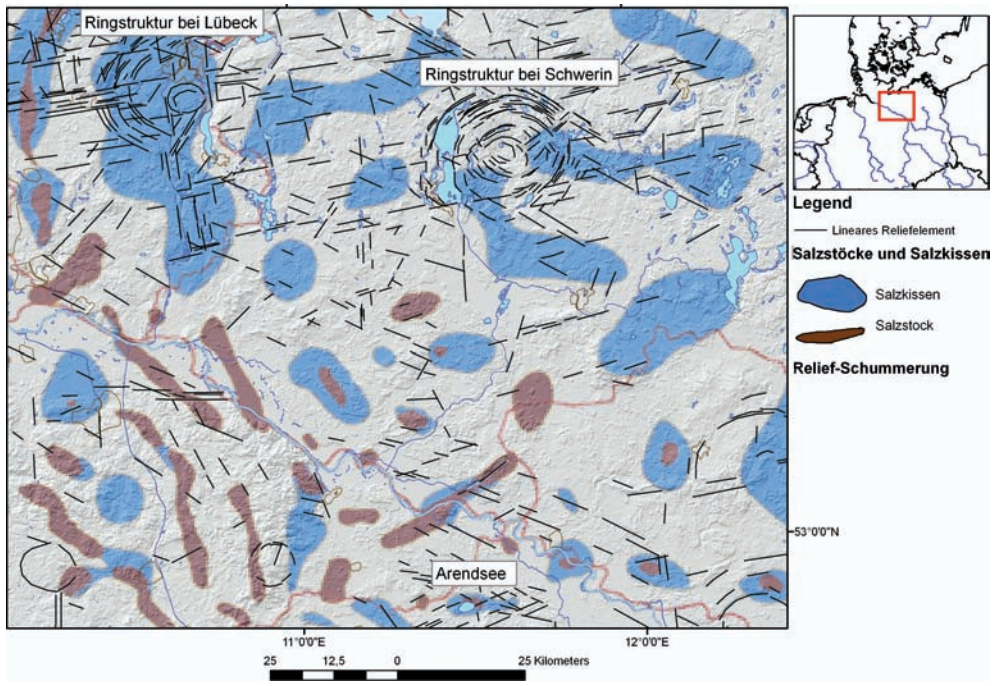


Abb. 5: Überlagerung der kartierten Ringstrukturen und linearen Reliefelemente mit der Karte der Salzkissen und Salzdomen im Untergrund Nord-Deutschlands (BALDSCHUHN et al. 1999, KOCKEL & KRULL 1995, BGR 2007).

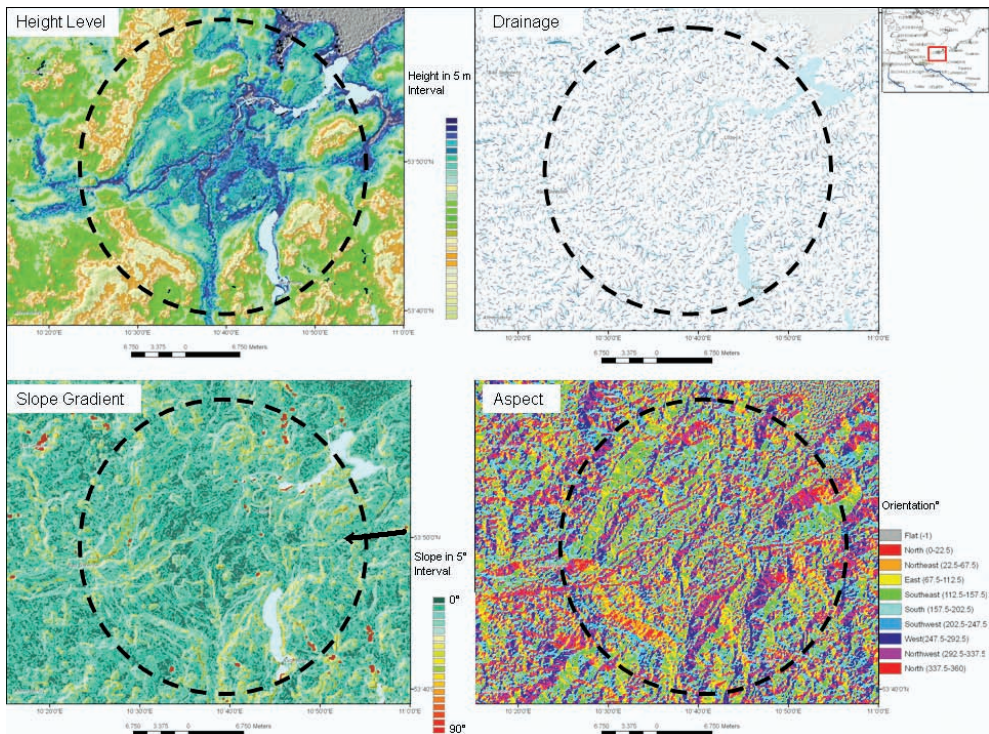


Abb. 6: Mophometrische Karten auf der Basis von SRTM Daten von der Lübecker Ringstruktur. Die Ringstruktur wird sowohl durch die Höhenschichten, als auch durch das Gewässernetz, die Hangeigungen und Hangorientierungen ersichtlic.

ENE-orientierten, linearen Tiefenlinien sind klar ausgeprägt (siehe Pfeile auf Abb. 3 und 4 und Lineationen in Abb. 5).

Noch deutlicher wird die Ringstruktur von Lübeck auf Hangneigungs- und Aspektkarten sowie bei der Analyse des Entwässerungsnetzes sichtbar (siehe Abb. 6). Auch in diesen Darstellungen zeichnen sich lineare Reliefelemente ab.

4.2 Die Ringstruktur von Schwerin

Die heutige Landschaft des Untersuchungsgebietes um Schwerin wurde während der Weichseleiszeit vor ca 12000 Jahren durch Urstromtäler und Sander des Pommerschen Stadiums geprägt. Die Seen liegen überwiegend südlich der Pommerschen Hauptendmoräne und werden über die Warnow mit ihren Nebenflüssen zur Ostsee entwässert. Der Schweriner See ist geomorphologisch als Gletscherzungensee der Weichsel-Eiszeit zu deuten. Der prä-quartäre Untergrund ist

durch Salztektonik geprägt. Aufbrüche von Salzstrukturen und die an ihnen aufgewölbten und empor geschleppten Gesteine aus dem Paläozoikum und Mesozoikum sind verbreitet (KATZUNG 2004).

Die Ringstruktur von Schwerin, die sich auf den SRTM Höhengichtenkarten klar abzeichnet, zeigt einen komplexeren geomorphologischen Aufbau als die Struktur bei Lübeck: In der Mitte befindet sich eine Senke, die von konzentrisch angeordneten Erhebungen und Tälern umgeben ist (siehe Abb. 7 und 8). Die Ringstruktur wird auch durch das Flussnetz und die Anordnung, Form und Verteilung der zahlreichen Seen und Teiche dieses Gebietes nachgezeichnet (siehe Abb. 8, 9, 10). Die Hangneigungskarte dieses Gebietes zeigt ebenfalls konzentrisch angeordnete Hangverläufe (siehe Abb. 9).

Untergrundstrukturen beeinflussen die hydrogeologische Situation: Auf der Basis von SRTM Daten in ArcGIS errechnete morphologische Wassereinzugsgebiete ge-

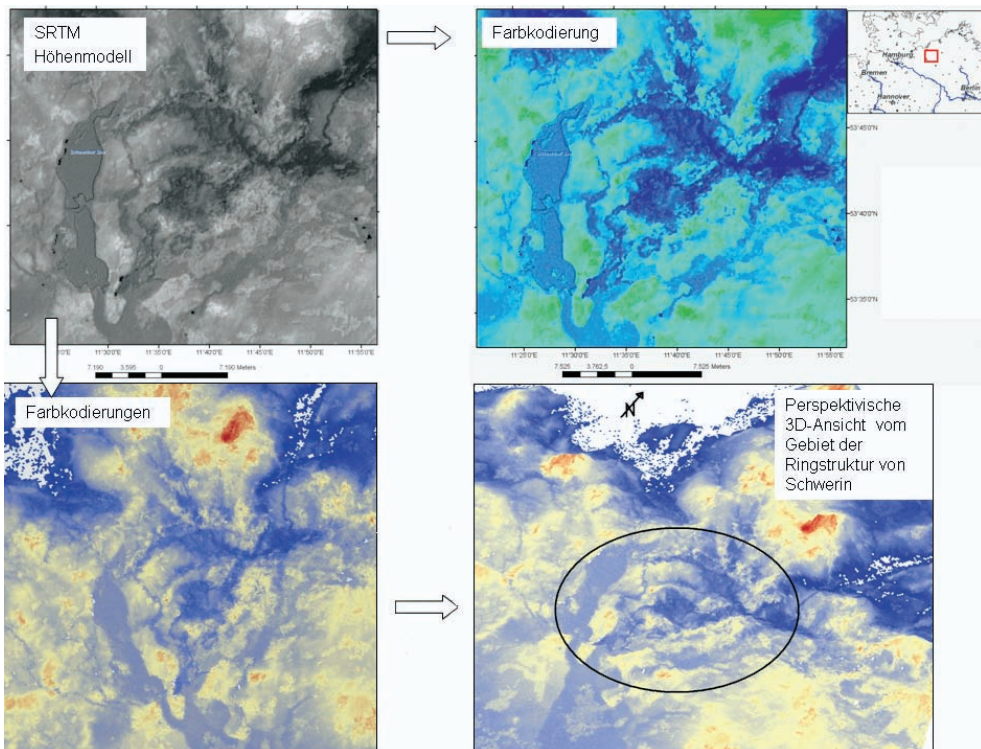


Abb. 7: SRTM Farbkodierungen und Bildprodukte vom Gebiet der Ringstruktur bei Schwerin.

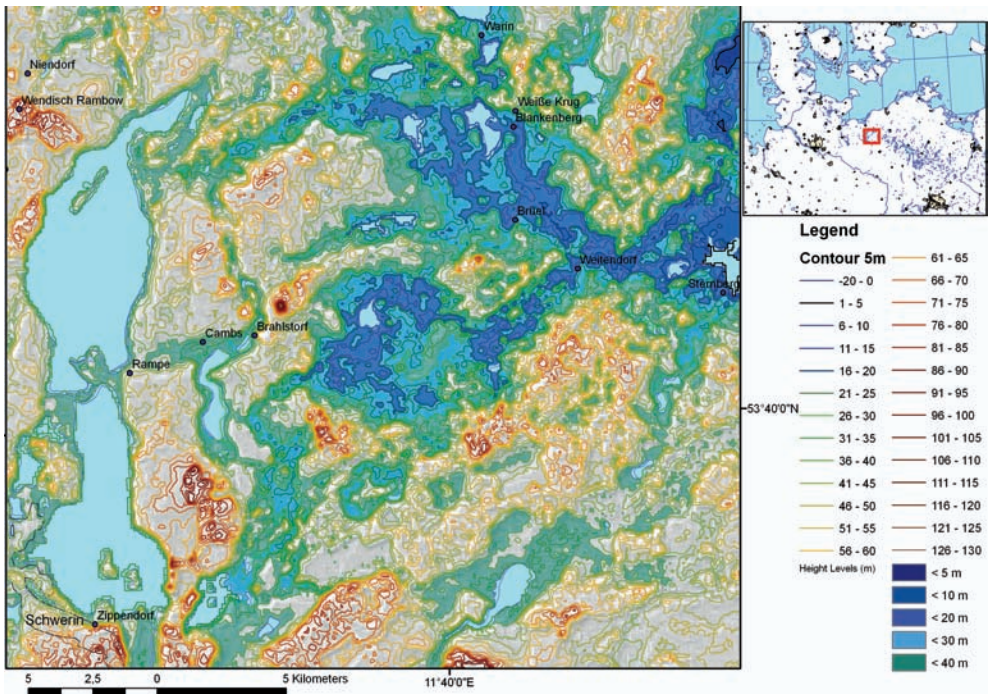


Abb. 8: Höhengschichtenkarte des Schweriner Gebietes.

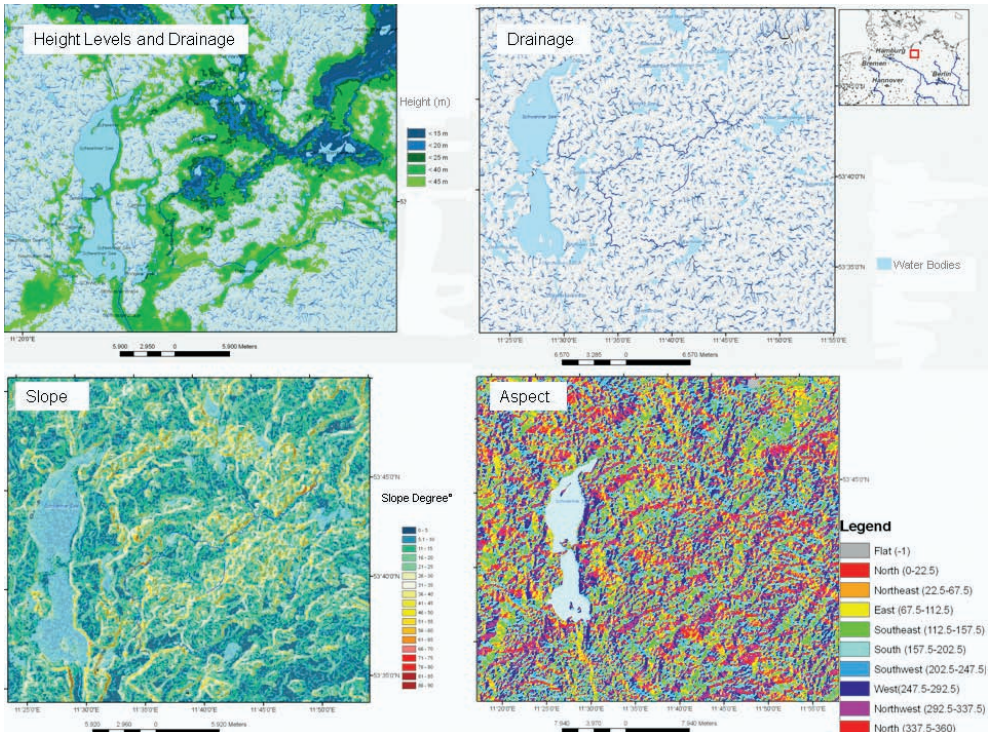


Abb. 9: SRTM basierte morphometrische Karten vom Gebiet der Ringstruktur von Schwerin. Das Gewässernetz, die Höhengschichten, die Hangneigungen und Orientierungen der Hänge lassen die Ringstruktur deutlich erkennen.

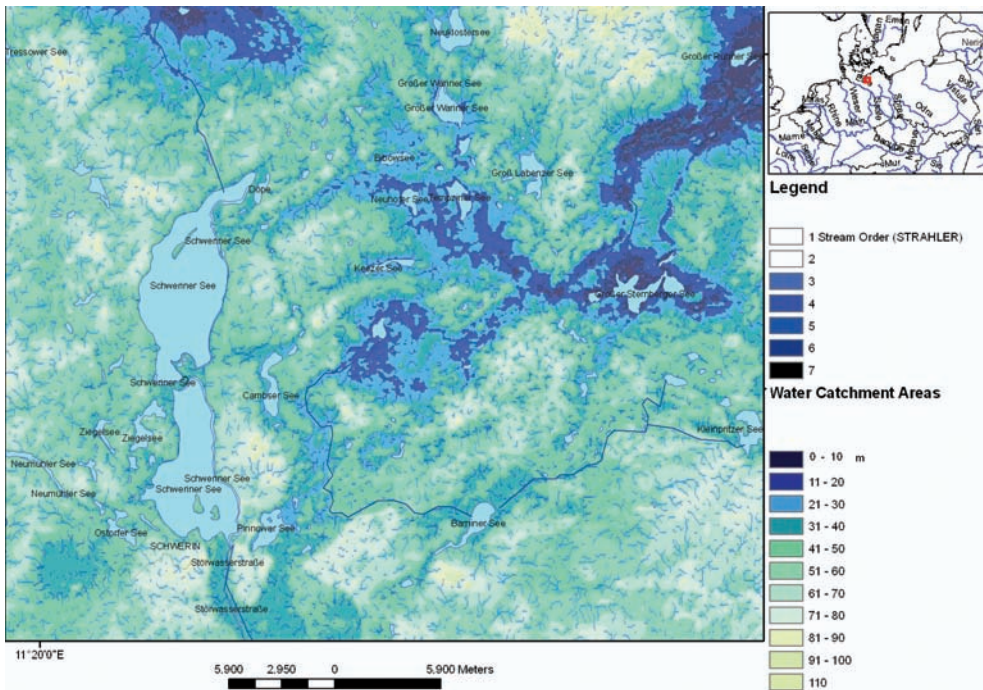


Abb. 10: Gewässernetzanalyse und Wassereinzugsgebiete, abgeleitet aus SRTM Höhendaten.

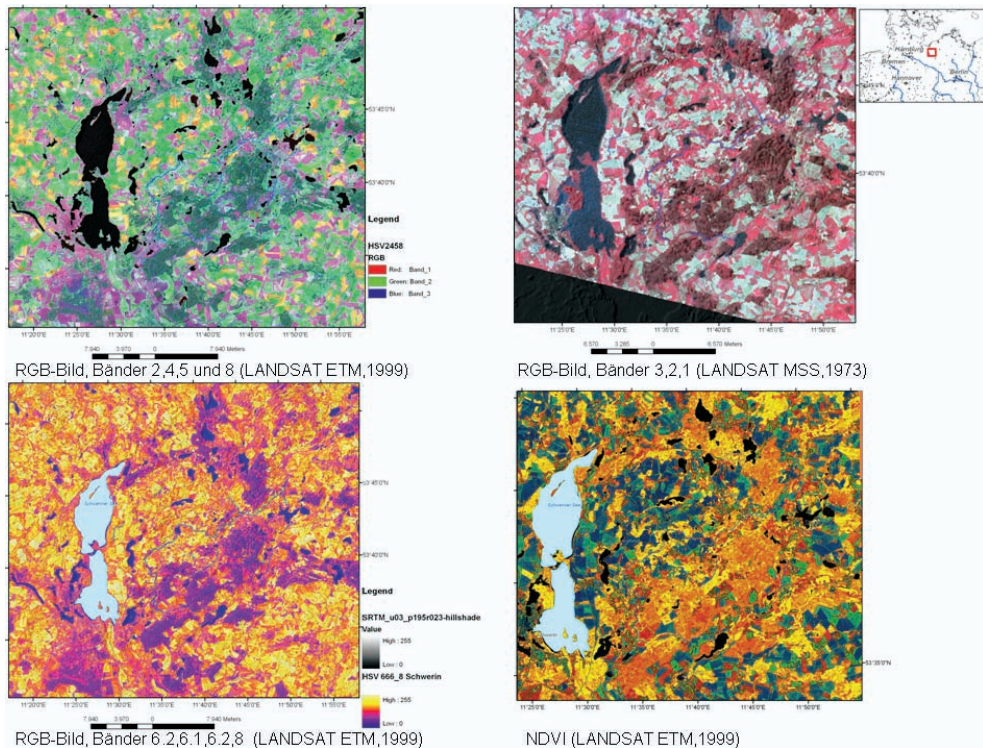


Abb. 11: LANDSAT Bildprodukte unterschiedlicher Aufnahmezeitpunkte und Qualität.

ben deutlich die Ringstruktur von Schwerin wieder (siehe Abb. 10).

Bei einer Auswertung von LANDSAT NDVI- und RGB-Bildprodukten unterschiedlicher Aufnahmezeitpunkte lässt sich die Nordhälfte der Ringstruktur deutlicher erkennen (siehe Abb. 11). Insgesamt sind die strukturgeologischen Auswertungsmöglichkeiten im Vergleich zu den SRTM basierten Karten geringer. Vegetationsbedeckung erschwert die geologische Analyse beträchtlich.

Die Ringstruktur von Schwerin ist offensichtlich mit der Salztektonik im Untergrund in Verbindung zu bringen. Die konzentrisch angeordneten Täler und Erhebungen um die zentrale Subrosionssenke sind durch sekundäre, ringförmige Randsenken um den Salzstock erklärbar, die während des Salzaufstieges durch Anhebung des Deckgebirges entstanden sind.

4.3 Arendsee

Die Struktur Arendsee – ein „Salzstock mit Auslaugungswanne über dem Top der Struktur“ – liegt in der Altmark, einer Grenzregion zwischen Elbe-Urstromtal im Norden und Pleistozän-Hochfläche im Süden (HURTIG 1965, STOTTMESTER 1998). Betrachtet man die präkanozoischen Verhältnisse, so ist der Arendsee in seiner geotektonischen Position dem Übergang zwischen Mitteleuropäischer Senke und Mitteleuropäischer Schollengebiet zuzuordnen. Direkt unter der Struktur verläuft ein NNE streichender Tiefenbruch, der als dextrale Horizontalverschiebung die variszische Front zerschert (KATZUNG & EHMKE 1993, KLEDITZSCH 2004). Diese Scherzone lässt sich – ausgehend vom südwestlichen Mecklenburg – bis ans Westende des Thüringer Waldes verfolgen (SÖLLIG & RÖLLIG 1989). Geodynamisch auffällig wurde die Struktur Arendsee durch den Aufstieg eines dammartigen

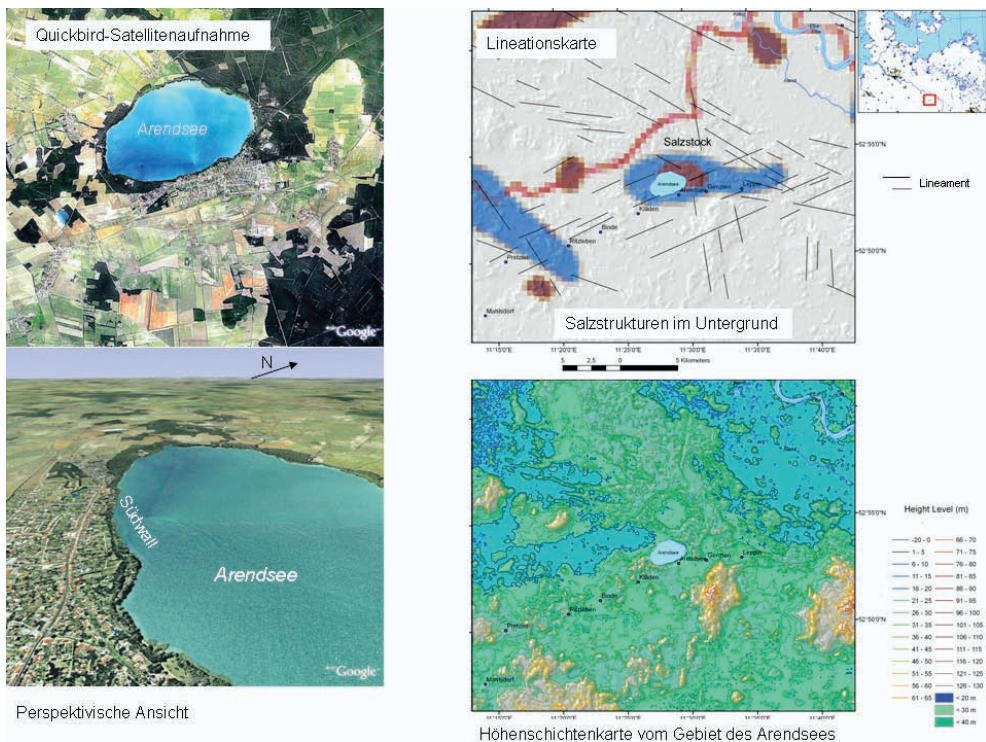


Abb. 12: Fernerkundungsdaten und -auswertungen vom Gebiet des Arendsees. Lineare Reliefelemente wurden auf der Basis SRTM basierter, morphometrischer Karten erfasst.

Walls, der während einer Nacht des Jahres 822 erfolgt ist (THIEME 1878, ALEXANDRE 1990). Wahrscheinlich hat diese Hebung am südwestlichen Rand des Sees in der tertiären Schlepplagezone stattgefunden. Stellt man die Altmark in den Rahmen der rezenten tektonischen Verhältnisse Nordwest-Deutschlands, so ist hier eine Drehung der größten horizontalen Hauptspannung (σ_H) aus einer NW-NNW-Orientierung im Westen in eine mehr N-S streichende Richtung im Osten festzustellen (REICHERTER et al. 2005).

Speziell die Umgebung von Arendsee zeichnet sich durch eine WNW-SSE-Richtung von s_H aus, sowohl im Supra- als auch im Subsalinar (LEMPPE & LERCHE 2006).

Das Lineationsmuster auf den Satellitenaufnahmen (siehe Abb. 12) lässt sich zu einem großen Teil konjugierten Scherflächen zuordnen. Sie sind die Antwort auf einen von Arendsee nach Osten gerichteten Salztransport, der sich auch in der Orientierung von σ_H als größte Hauptspannung abbildet. Da eine Wiederbelebung der Bruchtektonik im Tertiär für die Altmark fraglich ist (BRÜCKNER-RÖHLING et al. 2004), ist bei dem beobachteten Bruchmuster eine Durchpausung quartärer Bewegungen anzunehmen. Die historisch wie auch geodätisch nachgewiesenen Vertikalverschiebungen am Rande des Arendsees lassen sich mit einer Spannungsverteilung erklären, bei der als Folge des anhaltenden Salzaufstiegs die vertikale Hauptspannung zur größten Hauptspannung wird, d. h. einer für den kinematischen Typ der Abschiebung charakteristischen Konfiguration (MANDL 1988). Die Streichrichtung der Verschiebungsfläche ist Nord-Süd, das Einfallen vertikal. Falls diese Modell-Vorstellung zutrifft, ergibt sich eine Hebung im Westen, eine Absenkung im Osten. Die Bewegung vollzieht sich durch das Salz zwischen den beiden Blöcken als stilles Erdbeben oder als Kriechprozess.

5 Zusammenfassung

Die GIS integrierte Auswertungen des unterschiedlichen Datenmaterials und der aus SRTM und LANDSAT-Daten abgeleiteten Bildprodukte tragen zur Erfassung von Un-

tergrundstrukturen in Nord-Deutschland bei. Oberflächennahe Salzdomen können auf den morphometrischen Karten, die auf der Basis von SRTM Höhendaten erstellt wurden, als zum Teil deutlich sichtbar Ringstrukturen kartiert werden. Es zeichnen sich lineare Reliefelemente ab, die sich mit Störungszonen im Untergrund in Verbindung bringen lassen.

Danksagung

Herrn Prof. Dr. H. Mayer, Universität der Bundeswehr München, möchten wir herzlich für die sorgfältige Durchsicht des Manuskriptes danken.

Literatur

- ALEXANDRE, P., 1990: Les seismes en Europe occidentale de 394 a 1259. Nouveau catalogue critique. – Observ. Royal de Belgique, Serie Geophysique, Hors-Serie, Bruxelles, 266 Seiten.
- BALDSCHUHN, R., FRISCH, U. & KOCKEL, F., 1985: Inversionsstrukturen in NW-Deutschland und ihre Genese. – Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft **136**: 129–139.
- BALDSCHUHN, R., FRISCH, U. & KOCKEL, F., 1999: Die Strukturen im Untergrund NW-Deutschlands. – Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR) Hannover.
- BGR – BUNDESANSTALT FÜR GEOWISSENSCHAFTEN UND ROHSTOFFE, HANNOVER, 2007: Endlagerung radioaktiver Abfälle in Deutschland – Untersuchung und Bewertung von Regionen mit potenziell geeigneten Wirtsgesteinsformationen. – BGR, Hannover, www.bgr.bund.de/cdn_011/nn_329630/DE/Themen/Geotechnik/Downloads/BGR_wirtsgest_dtl,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/BGR_wirtsgest_dtl.pdf.
- BRÜCKNER-RÖHLING, S., FLEIG, S., FORSBACH, H., KOCKEL, F., KRULL, P., WIRTH, H., 2004: Die Bewegungsphasen tektonischer Störungen im Tertiär Norddeutschlands – Ergebnisse strukturgeologischer Untersuchungen. – Zeitschrift für geologische Wissenschaften, **32**: 295–321.
- HURTIG, E., 1965: Beziehungen zwischen Oberflächenmorphologie und Salzstrukturen. – Geophysik u. Geologie, Leipzig, **7**: 42–56.
- KATZUNG, G. & EHMKE, G., 1993: Das Prätertiär in Ostdeutschland. – Verlag Sven von Loga, Köln, 139 Seiten.

- KATZUNG, G., 2004: Geologie von Mecklenburg-Vorpommern. – E.Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- KLEDITZSCH, O.E., 2004: Modalbestand, Materialherkunft und geotektonische Position der Sandsteine des tieferen Oberrotliegend II (Mittel-/Oberperm) der Altmark und angrenzender Gebiete Nordwestdeutschlands. – *Tektonik, Klima oder beides?* – Zeitschrift für geologische Wissenschaften, **32**: 353–384.
- KOCKEL, F & KRULL, P., 1995: Endlagerung stark Wärme entwickelnder radioaktiver Abfälle in tiefen geologischen Formationen Deutschlands, Untersuchung und Bewertung von Salzformationen. – BGR, Hannover, www.bgr.bund.de/cln_011/nn_329630/DE/Themen/Geotechnik/Downloads/BGR_salzstudie.templateId=raw.property=publicationFile.pdf/BGR_salzstudie.pdf.
- LANGER, A. & SCHÜTTE, H., 2002: Geologie norddeutscher Salinare. – Akademie für Geowissenschaften Hannover, Veröffentlichungen, **20**: 63–69, www.geoakademie.de/PDF/Heft20/Langer.pdf.
- LEHNE, R. & SIROCKO, F., 2007: Rezente Bodenbewegungspotenziale in Schleswig-Holstein (Deutschland) – Ursachen und ihr Einfluss auf die Entwicklung der rezenten Topographie. – *Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften*, **158** (2): 329–347.
- LEMP, CH., LERCHE, L., 2006: Correlation of stress directions across the North German Basin: Suprasalt and subsalt differences. – *Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften*, **157**: 279–298.
- MANDL, G., 1988: Mechanics of faulting. – Elsevier, Amsterdam, Niederlande, 407 pp.
- REICHERTER, K., KAISER, A., STACKEBRAND, W., 2005: The post-glacial landscape evolution of the North German Basin: morphology, neotectonics and crustal deformation. – *International Journal of Earth Science*, **94**: 1087–1093.
- RÖHLING, S., 2002: Der Mittlere Muschelkalk in Bohrungen Norddeutschlands: Fazies, Geochemie, Zyklus- und Sequenzstratigraphie. – Dissertation, Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, sundoc.bibliothek.uni-halle.de/diss-online/02/02H160/
- SÖLLIG, A. & RÖLLIG, G. (Hauptredaktion), 1989: Tektonische Karte der DDR, 1 : 500.000.
- SIROCKO, F., SZEDER, T., SEELOS, C., LEHNE, R., REIN, B., SCHNEIDER, W.M. & DIMKE, M., 2002: Young tectonic and halokinetic movements in the North-German-Basin: its effect on formation of modern rivers and surface morphology. – *Netherlands Journal of Geosciences / Geologie en Mijnbouw* **81**, 3–4: 431–441, www.njgonline.nl/publish/articles/000216/article.pdf
- STOTTMEISTER, L., 1998: Erläuterungen zur Geologischen Karte 1 : 25.000 von Sachsen-Anhalt, Blatt Arendsee (3134). – Geol. Landesamt Sachsen-Anhalt, Halle, 190 Seiten.
- THIEME, H., 1878: Kloster Arendsee: Die Klostergebäude und das Klostergebiet. – Verlag von H. Weyhe, Salzwedel, 40 Seiten.

Internet Data Sources – Satellite Data:

- LANDSAT ETM and SRTM data: Earth Science Data Interface (ESDI) at the Global Land Cover Facility, University of Maryland, USA: glcapp.umiacs.umd.edu:8080/esdi/index.jsp
- NASA: <ftp://e0srp01u.ecs.nasa.gov/srtm/vers1on1/Eurasia/>, srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp

Anschriften der Autoren:

Prof. Dr. habil. BARBARA THEILEN-WILLIGE, Birkenweg 2, D-78333 Stockach, e-mail: Barbara.Theilen-Willige@t-online.de

Prof. Dr. GÖTZ SCHNEIDER, Gerokstr. 58, D-70184 Stuttgart

Manuskript eingereicht: November 2007
Angenommen: Januar 2008

Multi-Format Semantically Rich XML Based Visualization of Urban Structures

PETER A. HENNING, Karlsruhe

Keywords: eGovernment, CityGML, XSLT, visualization

Summary: The article describes the architecture of a completely XML-based geoinformation system, whose output follows a generator-transformer-serializer concept. This allows to generate tables and graphics as well as virtual reality models from a data base filled with land register data. Internal calculations and transformations are done with XSLT, which allows the integration with latest web technologies also for editing purpose. The modular system architecture may incorporate arbitrarily heterogeneous data sources and therefore is well suited for the integration of GIS and general workflow management systems anticipated in public administration.

Zusammenfassung: *Multi-Format semantisch reiche XML-basierte Visualisierung von urbanen Strukturen.* Vorgestellt wird die Architektur eines vollständig XML-basierten Geoinformationssystems, bei dem die Darstellung auf einem modularen Generator-Transformer-Serializer-Konzept beruht. Damit lassen sich aus einer mit Katasterdaten gefüllten Datenbasis sowohl Tabellen und Grafiken, als auch Virtual Reality-Darstellungen ganzer Städte erzeugen. Interne Berechnungen und Transformationen werden durch XSLT realisiert, dies erlaubt die Integration mit den neuesten Web-Technologien auch für die Dateneingabe. Die modulare Systemarchitektur kann beliebig heterogene Datenquellen bedienen und eignet sich darum für die im öffentlichen Bereich erwartete Integration mit allgemeinen Workflow Management Systemen.

1 Introduction

Computer scientists have envisioned the so-called *Semantic Web*, where all data carries meta-data (=semantic annotation) and is linked and integrated into a huge, globally accessible system. At the core of this Semantic Web are documents based on the Extensible Markup Language XML – or rather its *applications*, since XML is a meta-language and useful only for deriving consistent problem-oriented sets of tags, called applications (w3cXML). While the Semantic Web might be the only way to handle the increase in the world wide data volume (LYMAN & VARIAN 2004), its methods have also opened new possibilities for the interoperability of applications. For this latter reason,

XML technologies have become an increasingly important paradigm in any part of information science, and consequently also in geoinformation science.

This concerns, first of all, the handling and storage of geodata (ABDUL-RAHMAN et al. 2006). The relevant applications here range from generic (and therefore, from the standpoint of the Semantic Web, *low-level*) languages like the Geometrical Markup Language GML (GML) to very ambitious projects like CityGML (GRÖGER et al. 2007, CITYGML).

Secondly, XML applications have become increasingly important also for visualization purpose, such as the vector graphics format SVG (Scalable Vector Graphics (w3cSVG) and 3D modeling languages such

as X3D (WEB3D), KML (KML) and COLLADA (COLLADA).

There is however a third aspect of geoinformation science where XML is bound to play a major role.

Most of the geo-administrative tasks carried out in modern cities are embedded in complicated *workflows* involving several partners and various data sources. Consequently, these parts of a city administration are slow to operate and expensive to maintain. For similarly complicated workflows in the private business area, generic electronic *workflow engines* have come up in the past few years (WFMC). It may therefore be anticipated that such workflow engines will eventually also emerge in (and of course revolutionarize) the public administration. They are, of course, operated by XML-based workflow descriptions – and therefore XML applications are also at the core of the upcoming workflow revolution (BASTIDA MERINO & BENGURIA ELGUEZABAL 2005, HENNING 2007, BPDFL).

In the following we describe a prototype system where this latter aspect of XML has been put to use. In the workflow oriented geoinformation system WB3, all calculations *and* transformations are XML-based, and the workflow is described in an XML file as a set of generator-transformer-serializer pipelines, implementing the three layers of data-workflow-visualization of GIS. It is therefore conformant to the OGC Reference model (PERCIVALL 2003). However, our system goes beyond this scheme in the aspect that the term “generator” may also apply to a user interface form – and the “serializer” then may consist of a database entry operation, or even in the presentation of another user interface page.

It must be emphasized however, that for performance reasons we have not built our system around a *generic* workflow engine, and are not using a high-level workflow description language like BPDFL.

Nevertheless WB3 allows to cross-link a multitude of applications, data sources, customer requirements and handling agents into a complex system. Let us note, that this is a different type of complexity than found

in traditional large monolithic software systems – rather, it may be seen as the direct implementation of Semantic Web technology in geoinformation science and is well in line with current attempts to create geodata infrastructures.

For all the internal calculations we have used XSLT, the Extensible Stylesheet Language – Transformations (w3cXSL). XSLT is a set of tags that allows for a formal description of data transformations, with input and output of this transformation being XML compatible documents. This has been shown to be quite useful in geoscience, and already a considerable number of research efforts have been devoted to using XSLT in transforming geodata structures.

Much less well known is the fact that XSLT is indeed a full-fledged universal programming language, which follows the so-called *functional programming paradigm* (HENNING & VOGELANG 2006). Consequently by using XSLT any formally describable operation on data may be performed. This includes the generation of semantic meta-data by tapping into other data sources, but also allows to treat legacy systems. Just describe the operation that has to be performed, implement the description as XSLT program – and be done with it, such is the theory.

2 Technology

The technological core of the system WB3 is an Open Source product, the Apache Cocoon Server (COCOON). It is uniquely well suited for the purpose addressed here because it exhibits a generator-transformer-serializer concept: Data is read e. g. from an XML skeleton file filled with some parameters from a Web page, then passed through one or more transformer stages and then finalized by a serializer into an output format, e. g. another Web page. Such a sequence is called a *pipeline* in the Cocoon vocabulary, Fig.1 shows a typical pipeline. Numerous modules exist for generation, transformation and serialization of data – including “fancy” code to present calendar inserts or to augment MP3 files. For our

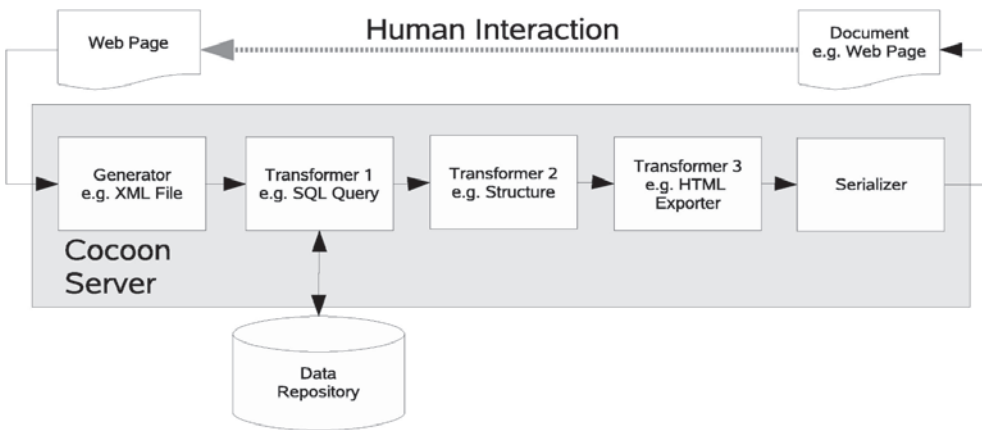


Fig. 1: Typical Cocoon pipeline consisting of generator, three transformer blocks and a serializer.

purpose we currently employ only a few of these possibilities, since most of the data generation is done by filling a predefined XML file with some parameters of the calling Web request.

In most cases the first transformation following the generator is an SQL transformation: The initial skeleton file together with the actual parameters passed by Cocoon forms an XSQL query, which is run through a database. While this might be an unorthodox view in the sense of usual programming paradigms, it fits well into the *functional programming paradigm* – where a database is nothing but a function performed on some parameters (the database query).

The database addressed in the WB3 project is another Open Source product, a MySQL database with several tables containing data on grounds, buildings, streets and other objects. It should be noted, that Cocoon works independently of the database used – and therefore might be run on top of any other geoinformation database.

Results of database queries are, from the viewpoint of modern markup languages, rather flat and structureless objects – one or more simple tables. For the purpose of WB3, some structure has to be brought into these results, requiring another transformation specified in the XSLT language.

For our example pipeline, the structured XML file resulting from this transformation is then exported into a certain format – a page, which is run through a simple HTML serializer to produce another Web page. This simple example however does not reflect the various possibilities of the Cocoon system. In particular, it is possible to merge results of two different pipelines in the Cocoon server. As part of our system, this feature is used to include complex image maps into HTML pages. One may also address another pipeline by referring to an image in a generated Web page, thereby merging different pipelines outside the Cocoon server. This is depicted in Fig. 2.

In WB3, the XSL transformations also contain the *business logic*, which involves string manipulations as well as numerical calculations. The functional programming possible with XSLT has certain advantages over conventional programming logic:

1. Since no state variables exist in functional programming, function calls are, in the language of computer science, free from side effects. This implies that function calls cannot influence each other – and consequently, one of the core tasks in geoinformation systems, namely coordinate transformations, may be implemented much more safely.
2. Function calls are possible with arbitrary recursion, and the concept of an operator,

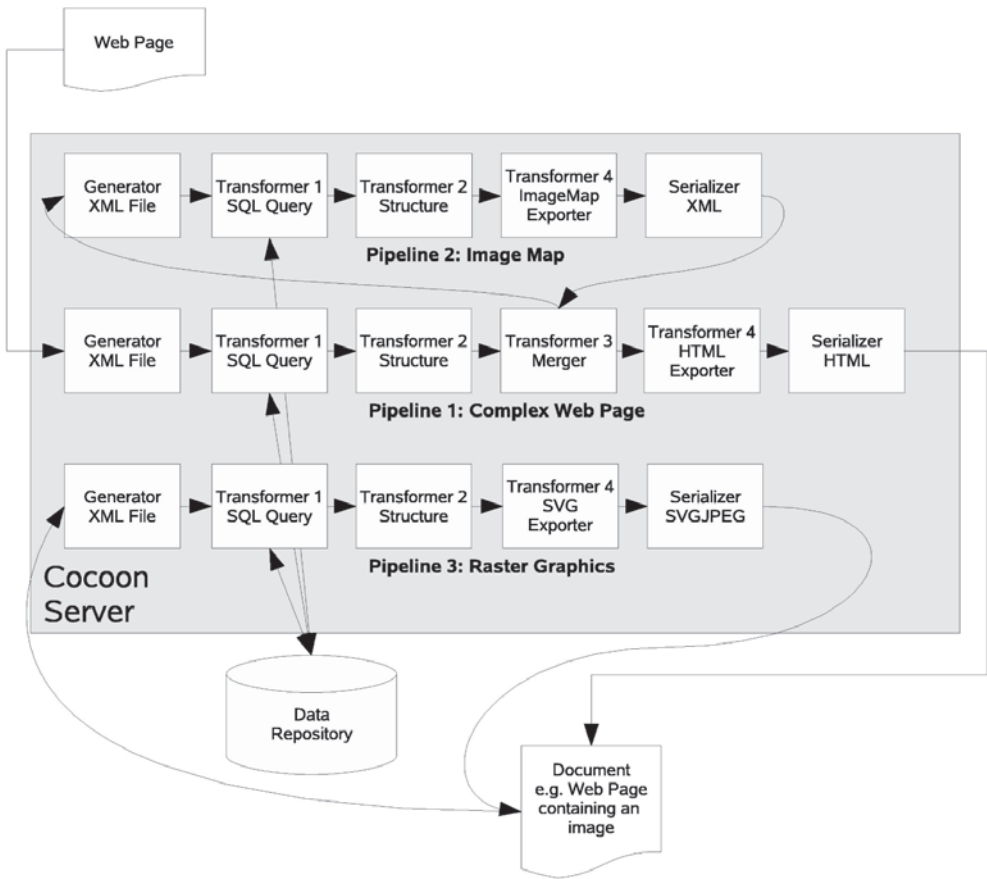


Fig. 2: Merging several Cocoon pipelines for the production of a complex Web page.

i. e., a function action on functions is quite natural. It is not by chance that the first computer algebra systems have been realized using the functional programming language LISP.

3. According to industrial power users, functional programming leads to more abstract and easier verifiable source code, and consequently reduces the error rate in software development dramatically (ARMSTRONG 2003).
4. Since XSLT code itself comes in XML format, it is structurally verifiable. This means, that syntactical as well as semantical errors are even easier to discover.

Fig. 3 shows a few lines of XSLT source code (not relevant for the WB3 system) to demonstrate some of these features.

A price one has to pay for this “secure” development is the much higher amount of writing needed – but on the other hand the code is quite readable even to non-developing persons. Another drawback is the fact that so far XSLT code is *interpreted* – which means, that much of modern computing power is lost. However, XSLT “compilers” seem to be around the corner – which would then translate XSLT code into Java classes that have a much higher performance.

A natural question arising in the context of technology is the performance of the system. The Cocoon server exhibits a nice caching mechanism – which up to now is not synchronized with the caching mechanism of the connected data base. Consequently we have found it advantageous to keep the


```

<template name="ggt">
  <param name="x"/>
  <param name="y"/>
  <choose>
    <when test="$y=0"> <value-of select="$x"/> </when>
    <otherwise>
      <call-template name="ggt">
        <with-param name="x" select="$y"/>
        <with-param name="y">
          <call-template name="modulo">
            <with-param name="xx" select="$x"/>
            <with-param name="yy" select="$y"/>
          </call-template> </with-param>
        </call-template> </otherwise>
      </choose>
    </template>
  </template>

```

Fig. 3: Example for XSLT source code – here a simple implementation of an algorithm to find the greatest common divisor of two integer number by recursive call of the function (= template) named “ggt”.

result of database queries as temporary files, e. g., to manually extend the caching of Cocoon to the database. With such a component in place we are able to render any of the output formats for approximately 1.000 houses within a few seconds on an Athlon 64 computer. It is therefore not a far-fetched guess to estimate, that some 90.000 buildings may be a manageable data volume for the current prototype system running on a single PC.

3 Data Acquisition and Storage

The WB3 data repository is – for each city – organized in two main tables which may be filled automatically by point and line data obtained from a state agency (vaBW):

1. A table of grounds, each carrying a unique identifier. Its edge points are specified in a city-local coordinate system as meters “right” (=east) and “up” (=north) from a central Gauss-Krueger reference point. While we found this very convenient to handle, it is of course easily adopted to a standard system, where coordinate points are kept in a separate table and referenced by name.
2. A table of building data with edge points specified in a ground-local coordinate system. These ground-local systems are automatically aligned with the northwest corner of the ground and a building side

– thereby allowing for easy user-friendly measurements local to the ground while maintaining the geospatial reference. Since the building data – even when obtained from state agencies – is of mixed quality, these reference points may be modified on a per-building basis. Building parts on the same ground are automatically grouped.

Let us note, that this storage in a ground-local system is not necessary for the application – one might easily switch to an absolute coordinate system also for the building data. The transformation concept of WB3 allows to implement this within a few lines. However, when presenting data to the *owner* of a building, he might be more familiar with the data in a ground-local system than with absolute data. In this sense, the building database was found easier to maintain in its present form. Furthermore, although the usage of ground-local coordinate systems is certainly not an OGC conformant service and therefore might seem unusual for geographers, it is still compliant to OGC standards on coordinate referencing (LOTT 2004).

Fig.4 depicts the geometrical organization of this repository. However, these initial data structures are far from complete enough to perform even the most basic public services. The missing data items, like e. g. ownership information, addresses and

building heights are, to a large extent, found in data bases run by the city administration. From these they may be imported semi-automatically. Manual data entry for the city is also necessary to fill optional additional structures:

3. A table of street names and their reference to certain ground identifiers.
4. Tables for vegetation covers and solitary vegetation objects, like e. g. trees.
5. A table of underground objects in the form of piecewise linear curves, like e. g. sewage pipes.

Since it is clear, that manual data entry must be part of a useful city information system, a security concept as well as an editing concept are needed. The WB3 system therefore contains a role based access control (RBAC) security system: *City editors* may read, write and delete any data item, while *administrative employees* may delete and write only meta data – but read the full data available. The general public may read only part of the data, for example in the form of graphical overviews of the whole city – but never the tabular data on individual buildings and grounds. *Home owners* may be given a special password access to read their own full geometrical and meta data – and to make suggestions for improvement of data items. Official data on buildings used for the prototype turned out to be incomplete (missing buildings), outdated (missing addenda to buildings) and imprecise (some points being as much as 0.5 m off reality), such a concept might indeed improve the data quality without measurable investment.

Since this security system is implemented as part of the WB3 server, it serves as an envelope for other security issues. Let us, for example, consider a heterogeneous distributed system where part of the necessary data is acquired via a third-party web service (like e. g. a particular 3D architectural model). The special *role* of a WB3 user then may or may not include access to this web service.

Roles therefore have to be seen orthogonal to dedicated user names and passwords. The RBAC system may be extended

to an arbitrary fine granularity, solving every conceivable problem of access rights propagation. On the other hand, due to its modular structure, WB3 may be easily modified to run a user authentication against a Radius server or an LDAP system that is part of a larger eGovernment system. In any case it may be safely stated that the RBAC system of WB3 is fully conformant to the digital rights management (DRM) gatekeeper model of the OGC (VOWLES 2006).

4 Editing Data

For writing data into WB3, the entitled editor is presented with comfortable forms via internet, consequently no special software is needed. Standard internet encryption techniques (secure encryption and digital signatures for documents) allow for usage even in non-secure environments. Moreover, an entitled editor may enter coordinate data necessary for these tables graphically, since he is presented with a map generated from the initial data. Since this map is rasterized from an SVG representation, it may be enlarged almost indefinitely – and a person entering, for example, a “tree” into the vegetation table may do so by clicking into the exact spot on the map. Even for this graphical data entry, no special software is necessary. The coordinates are acquired from the rasterized map by JavaScript functions which are part of the editor forms, see Fig. 5 for an overview.

It appears noteworthy, that the graphical editor functions are purely based on JavaScript. Consequently, the data transfer into the back end is minimized and all relevant coordinate transformations from pixel into the WB3 system are performed on the client side, i. e., they are running in the *editor's* computer.

Not only does this conform to the latest Web technologies like e. g. Ajax, it also allows for an easy extension. In particular, this may involve requirements like e. g. grid snapping and other geometrical and topological construction aids – which are not yet implemented in the prototype WB3

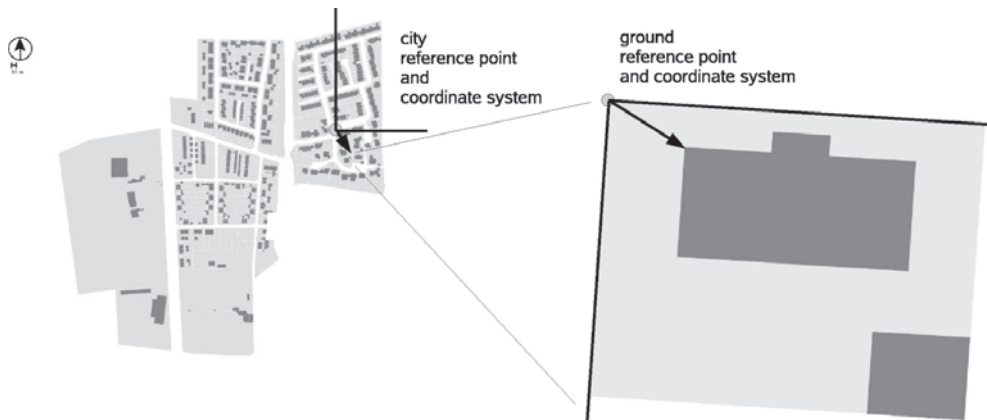


Fig. 4: Example for the Scaled Vector Graphics (SVG) output of the city database after automatic import of ground and building data. Streets are removed for clarity of presentation.

system. One may also envisage an extension of the editor functionality that couples it to completely different third party software – which would allow to use arbitrary CAD functionality for editing purpose. This is currently a trend also in other areas, where e. g. ready-made editor components for text are available for inclusion into any system as “Java beans”.

With this editing concept, WB3 does no longer fit into the OGC reference model (PERCIVALL 2003) – rather, it closes an interactive loop between data presentation and data production. From the standpoint of Semantic Web technology, this should be considered a hint towards a possible extension of such reference models.

As a final remark concerning the graphical editor component it must be emphasized, that although its display currently is based on a rasterized picture, one could also couple the JavaScript functions into an SVG display. This would allow for a graphical editor component that – while still being completely web-based – can be of any desired precision.

5 Visualization of City Data

Of course, each data layer may be presented as web pages, including two-dimensional graphical representations. These pages can also be transformed into yet another XML

application, the XSL Formatting Objects. These are then serialized by a standard component of Cocoon into a PDF document, thus producing printable output of the data collected in WB3. Since standard methods allow for a digital signature of these PDF documents, the system is well suited to print official documents without requiring manual intervention – an important aspect for eGovernment.

The ground and building parts of the two-dimensional graphical data are obtained from the official land register. Additional data entered manually falls in two categories: Vegetation structures are drawn as (semi-transparent) areas in the two-dimensional plans, whereas underground pipes are drawn as collections of points and piecewise linear curves. Apart from their presentation in interactive city maps, the 2D maps are also needed for the graphical editing forms.

Three-dimensional representations are obtained from imported land register data using a default height for buildings, as e. g. contained in the city regulatory codes. Underground pipes are included in these as cylinder arrays, i. e. piecewise linear tubes, and vegetation as blocks or artificial tree-like structures. Even in this LOD (Level of Detail) 1, the output may be useful for planning purpose – ranging from an underground view showing sewage and water pipes and electrical cables to simulations on

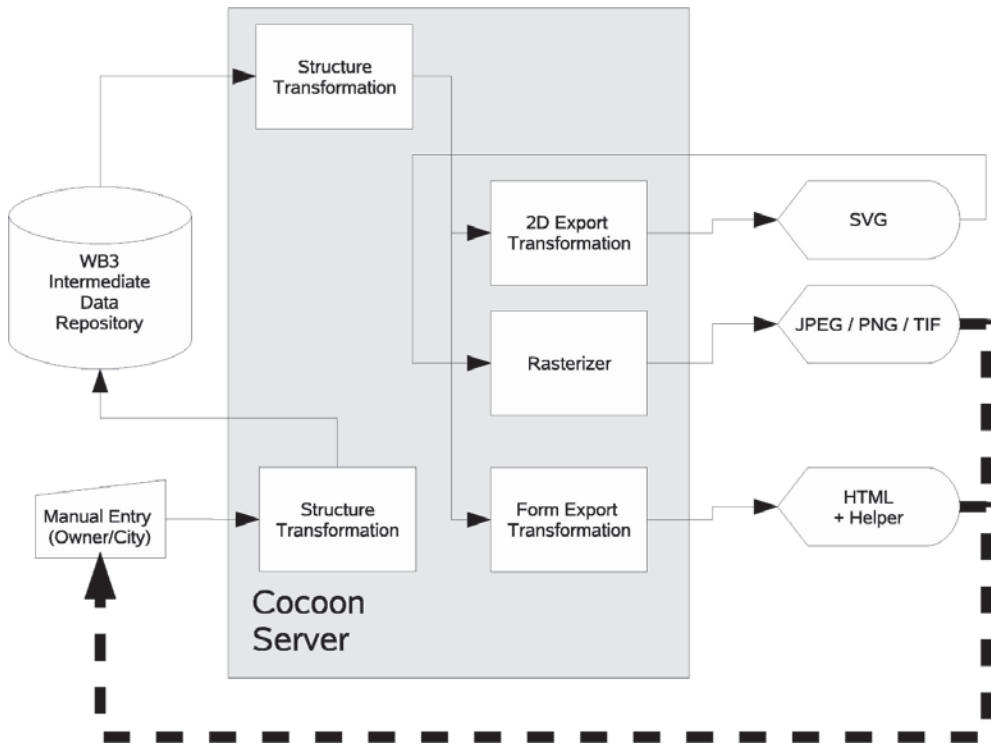


Fig. 5: Two-dimensional representations and editing concept of WB3.

noise and wind propagation. We consider this underground view as another innovative step, since it provides an added value for administrative purpose.

If a *city editor* enters coordinates for a roof line, a roof type and height values for stories, the system generates a realistic form for the outside of the building, including a roof according to specification. While such an LOD 2 model could be calculated from the data in real-time, we found it to be more useful to do this calculation only once when the building editor form is saved – hence *caching* the results of the geometrical calculations performed to acquire a roof in a special database field. It must be emphasized, that this is not a return to old-fashioned storage methods – since there is no way to directly edit this “roof and side” cache, and since it will be overwritten with each modification of the building. It is solely maintained for performance reasons.

Finally, the system WB3 also allows to place links in the building table of the data repository. Two different links are possible. One of them points to arbitrary internet location for information purpose, hence 2D as well as 3D data may be part of a city information system. Such a system has recently been implemented for the City of Berlin based on a 3D model in Google Earth (BERLIN).

The second type of links connects the system to three-dimensional models. In accordance with established standards, we label this as LOD 4, see Fig. 6. LOD 3, which would be a more detailed model than LOD 2 (but without interior pieces), as well as textures are not yet fully implemented in WB3 (see note in the summary).

Clearly, this linking is not limited to static 3D visualization models (as we have implemented it) – but could also involve semantic links into other systems, like e. g. CAD data

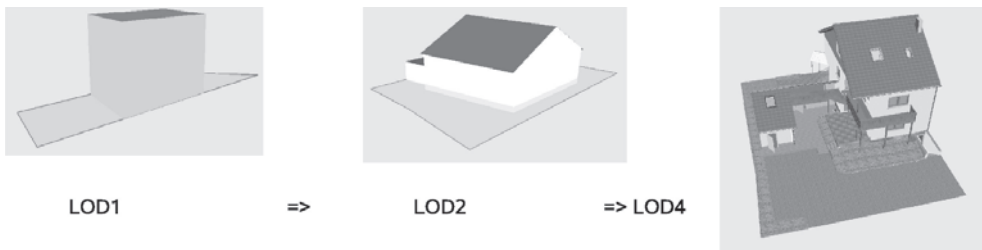


Fig. 6: Buildings are represented in different Levels of Detail (LOD).

bases or CAD files. We find it too early to speculate about the nature of future 3D standards for *architectural* building models (apart from the fact that they will be XML based). However, on one hand it is safe to state that for many years to come the vast majority of buildings in public database systems will *not* encompass LOD 4 data. On the other hand even in case LOD 4 data *is* available, it would unwise to incorporate CAD data into WB3 – partly because WB3 lacks features for re-use of models and version control, partly because even CAD models are written for a certain purpose and will most certainly never be fully standardized. The linking in WB3 then might also involve external transformation scenarios for these CAD models. Consequently, the method of linking to external LOD 4 models chosen here is semantically correct, flexible to implement, effective to maintain and future safe.

Three-dimensional data nowadays, even if limiting oneself to textual non-binary form, comes in a variety of formats. The following formats are produced by WB3:

- X3D is an XML formulation for the Virtual Reality Modeling language VRML (WEB3D). It is tailored to describe virtual worlds, which may be explored interactively by the user. The virtual world may contain animations and other time dependent effects. The X3D file produced in LOD 1 and LOD 2 will be placed in a so-called LOD node, if a link to a static VRML or X3D file is contained in the database. If the virtual world is explored by the user, and he or she approaches the LOD node, the rather simple LOD 1 or

LOD 2 model is replaced by the embedded VRML file. The combined X3D/VRML world is centered around the city-local Gauss-Krueger reference point.

- KML, the Keyhole Markup Language, is a rather simple X3D format heavily used for 3D building models in the application Google Earth (KML). Its particularity is the geo-referentiation of the coordinates used. They are derived from WB3 internal coordinate representations (see Fig. 4) by an XSL transformation.
- COLLADA is a rather new XML format for 3D models (COLLADA). While it is also displayed in Google Earth, it is mainly targeted to easy and fast rendering in game programming situations. Compared to the X3D representation, it is therefore closer to rendering engines and open graphics standards like OpenGL. An OpenGL renderer for COLLADA may be seen similar to a rasterizer for SVG data. COLLADA is most easily used in simulations where city data is needed – like e. g. driving simulators.
- CityGML is more than just another three-dimensional format, because it is targeted at reproducing the complete semantical information known about a city and its objects. It is therefore not really a display format, but a format to exchange data with other applications (KOLBE & GRÖGER 2005, GRÖGER et al. 2007).

Fig. 7 depicts the various export formats and their relationship. This picture also emphasizes the modular structure of the WB3 system, composed of re-usable transformation blocks written in XSLT.

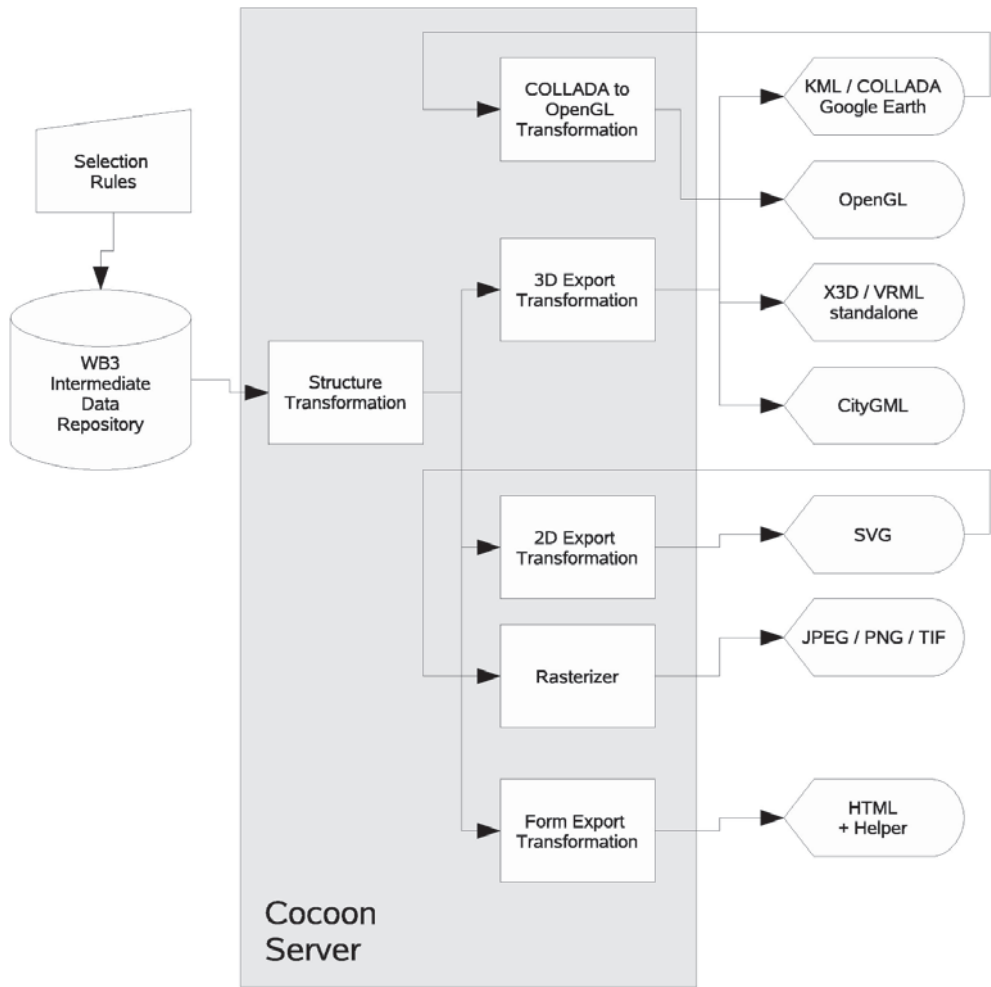


Fig. 7: Different 2D and 3D export formats.

6 Summary

First of all it should be made clear, that the prototype implementation still lacks a lot of functionality that is already available in state-of-the-art commercial geoinformation systems, like e. g. spatial analysis. However, this is just a temporary limitation bound to disappear when more functionality is added as described below.

The existing prototype system therefore has to be distinguished from the general (informational) architecture of WB3. Whereas the former is, well, a prototype – the latter

is indeed more than “just another” geoinformation system. In the following we summarize our findings from the more general standpoint.

1. The modular generator-transformer-serializer concept fits into the *thin client* picture of the OGC (PERCIVAL 2003) and is a clean implementation of the usual visualization pipeline. Within this framework, the web browser together with its standard plugins serves as *thin client*, whereas the WB3 system serves as integrator and partially as renderer. However, adding editor functionality in terms

- of JavaScript functions to the thin client as is done in WB3 then shifts it somewhat more into the direction of a *thick client*. Therefore, as stated above it may be concluded, that the OGC model for portraying is slightly inadequate for WB3 as the former does not combine data presentation and data entry, e. g., it lacks the interactive aspects of the Semantic Web.
2. One might argue, that the data storage layer implemented in the prototype system is not OGC compliant. However, due to the modularity it is easily possible to implement another storage system as bottom layer of the system. This adaptability is due to the use of XSLT and combines naturally with the concept of functional programming and workflow orientation of the system.
 3. Since WB3 is completely modular and based on XML even for the internal calculations, it can be expanded or modified very easily. In particular, it may be customized to a large extent – which sets it apart from large monolithic software systems. It was proven over the past two years, that even the open source development model of distributed software development is feasible for such a system. Within the past six weeks before publication, for example, a rudimentary texturing tool was added. Planned extensions include a Web Map Service and a Web Feature Service – which, in the view of WB3 are just another XML output.
 4. As argued above, this strict XML orientation forms a unique opportunity to integrate it with generic *workflow management systems* that are bound to appear in public administration. Such generic systems are much more flexible than the dedicated workflow concepts of existing and upcoming commercial GIS, because they may also incorporate completely different steps outside the usual city geographers' tasks. One could envisage a city information system, where also sociological and archaeological information is kept along with modern data. In this context it seems worthwhile to mention that in one of the prototype villages available

in WB3 we have already entered roman building structures from 200 A. D. – and conversely integrated specially processed WB3 graphics output into a virtual museum application.

5. Since many data formats useful for visualization nowadays come as XML applications, WB3 forms a natural base for an export into any of these formats. This encompasses both semantically poor formats like COLLADA and semantically rich formats like CityGML. In other words, WB3 is also a tool to transform among these formats. Since they differ in their ontological basis, WB3 therefore may be considered an ontological mapping tool.
6. As we have shown, XSLT serves as an integrating glue, binding together various types of data from a multitude of sources without ever modifying the legacy systems. Semantic meta-data necessary to switch the ontological basis is then acquired in the XSLT transformation descriptions – which may change with time more easily than Document Type Definitions or XML Schema files. We therefore conclude, that the rise of XML based declarative languages for geoinformation purpose will be followed by an increasing usage of XSLT to ensure interoperability. While the idea of a *Semantic Web* in its pure form seems to be a rather theoretical concept interesting mainly to computer scientists, its core idea of managing a world wide data repository by semantic annotation (XML) and transformation (via XSLT) may become to be a key element to the future of geodata management.

The prototype of the system WB3 is accessible at www.ilias-karlsruhe.de:8888/wb3/

References

- ABDUL-RAHMAN, A., ZLATANOVA, S. & COORS, V., 2006: Innovations in 3D Geo Information Systems. – Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, Springer, Heidelberg.
- ARMSTRONG, J., 2003: Making reliable distributed systems in the presence of software errors. – Dissertation, KTH Stockholm, Sweden.

- BASTIDA MERINO, L. & BENGURIA ELGUEZABAL, G., 2005: Business Process Definition Languages Versus Traditional Methods Towards Interoperability. – COTS-Based Software Systems, Springer, Heidelberg, 25–35.
- GRÖGER, G., KOLBE, T.H. & CZERWINSKI, A., 2007: City Geography Markup Language (CityGML). – OGC Best Practices Document, Version 0.4.0, (OGC 07-062 2007).
- HENNING, P.A. & VOGELANG, H., 2006: Handbuch Programmiersprachen. – Hanser, München.
- HENNING, P.A., 2007: Open Source Lösungen zur Integration von Hochschulmanagement und eLearning. – 21. DFN-Arbeitstagung Kommunikationsnetze, GI Lecture Notes, im Druck.
- KOLBE, T.H. & GRÖGER, G., 2005: 3D-Stadtmodellierung auf der Basis internationaler GI-Standards. – 3D-Geoinformationssysteme, Wichmann, Heidelberg, 243–249.
- LOTT, R., 2004: OGC Abstract Specification Topic 2, Spatial referencing by coordinates. – OGC 04-046r3.
- LVABW: Landesvermessungsamt Baden-Württemberg. – Copyright for geodata used in WB3.
- LYMAN, P. & VARIAN, H., 2004: How much information? – www.sims.berkeley.edu/research/projects.
- PERCIVAL, G. (Editor), 2003: The OGC Reference Model. – OGC 03-040, 2003.
- VOWLES, G. (Editor), 2006: The OpenGIS® Abstract Specification, Topic 18: Geospatial Digital Rights Management Reference Model (GeoDRM RM). – OGC 06-004r4, 2006.
- Berlin: 3D Model of Berlin, www.3d-stadtmodell-berlin.de
- CityGML: Resources for CityGML, www.citygml.org/
- Cocoon: Resources for the Apache Cocoon Server, cocoon.apache.org/
- Collada: Resources for the COLLADA Community, www.collada.org
- GML: Resources for the Geography Markup Language, www.opengis.net/gml
- KML: Resources for the Keyhole Markup Language KML, code.google.com/apis/kml/documentation/
- Web3D: Resources of The Web 3D Consortium, www.web3d.org
- WFMC: Resources of the Workflow Modeling Coalition, www.wfmc.org
- w3cXML: XML Resources of the W3C, www.w3c.org/XML
- w3cXSL: W3C Resources on XSL, www.w3.org/Style/XSL
- w3cSVG: SVG Resources of the W3C, www.w3.org/Graphics/SVG/
- Address of the Author:
 Prof. Dr. rer. nat. PETER A. HENNING, media::lab,
 Hochschule Karlsruhe, Moltkestrasse 30, 76133
 Karlsruhe, Tel.: +49-721-925-1477, Fax: +49-
 721-925-1509, e-mail: peter.henning@medialab-karlsruhe.de
- Manuskript eingereicht: Oktober 2007
 Angenommen: Januar 2008

Hochschulnachrichten

Leibniz Universität Hannover

Herr Dipl.-Ing. KARSTEN RAGUSE promovierte am 16. April 2007 an der Fakultät für Bauingenieurwesen und Geodäsie der Leibniz Universität Hannover mit der Arbeit „*Dreidimensionale photogrammetrische Auswertung asynchron aufgenommener Bildsequenzen mittels Punktverfolgungsverfahren*“ zum Dr.-Ing.

1. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. CHRISTIAN HEIPKE, Hannover, 2. Gutachter: Prof. Dr. sc. techn. habil. HANS-GERD MAAS, Dresden, 3. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. HANSJÖRG KUTTERER, Hannover.

Kurzfassung:

Eine grundlegende Voraussetzung für eine präzise photogrammetrische Auswertung bewegter Objekte aus Einzelbildern und Bildsequenzen eines Mehrkamerasystems ist die exakt synchrone Aufnahme. Asynchronitäten zwischen den einzelnen Kameras können zu systematischen Verschiebungen der Objektkoordinaten und zu Vergrößerungen der Standardabweichungen der Koordinaten führen. Bei vielen Anwendungen werden die Kameras im Vorfeld durch den Einsatz von komplexen Hardware-Komponenten, wie z. B. Triggerboxen, synchronisiert. Jedoch ist diese Art der Synchronisation sehr kostenintensiv und nicht bei allen Anwendungen realisierbar. Aus diesem Grund werden Asynchronitäten häufig nicht registriert und auch nicht im Rahmen der Auswertung berücksichtigt. Dies führt zu fehlerhaften Ergebnissen.

In dieser Arbeit wird ein neues Verfahren zur dreidimensionalen photogrammetrischen Auswertung asynchron aufgenommener Bildsequenzen mittels Punktverfolgungsverfahren vorgestellt. Dabei sind keine Hardware-Komponenten zur Synchronisation der Kameras oder zur Messung der Asynchronität zwischen den Kameras erforderlich. Das Verfahren beruht auf der Syn-

chronisation von Punktmessungen in den Bildern der Sequenzen. Die Asynchronität wird in Form einer Korrekturfunktion modelliert und in das funktionale Modell der Bündelausgleichung nach vermittelnden Beobachtungen integriert. Die Parameter der Korrekturfunktion werden als unbekannte Parameter in der Ausgleichung simultan zu den Objektkoordinaten und gegebenenfalls weiteren Unbekannten bestimmt.

Die Verifizierung des Verfahrens erfolgt über zwei Versuche. Im ersten Versuch wird die Rotation einer dreidimensionalen Testtafel mit zwei digitalen Highspeed-Kameras mit einer Aufnahmefrequenz von 1000 Hz erfasst. Im Rahmen der Auswertung werden die theoretische und die empirische Genauigkeit des Verfahrens bestimmt sowie die für eine korrekte und zuverlässige Bestimmung der Asynchronität mindestens notwendige Anzahl von aufeinander folgenden Bildern ermittelt. Durch die Berücksichtigung der Asynchronität konnte die Standardabweichung der ermittelten Objektkoordinaten bei diesem Versuch etwa um den Faktor 10 verbessert werden. Die Ergebnisse dieses ersten Versuchs belegen die Eignung des Verfahrens zur Berücksichtigung der Asynchronität bei der photogrammetrischen Bildsequenzauswertung.

In einem zweiten Test wird ein Fahrzeug-sicherheitsversuch mit sechs räumlich verteilten digitalen Highspeed-Kameras, ebenfalls mit einer Aufnahmefrequenz von 1000 Hz, aufgenommen. Die Verbesserungen durch das neue Verfahren zur Bildsequenzauswertung werden zunächst theoretisch untersucht. Im zweiten Teil der Auswertung werden die Verbesserungen für die Analyse der Sicherheitsversuche im Rahmen der Fahrzeugentwicklung aufgezeigt. Durch die Anwendung des Verfahrens zur Berücksichtigung der Asynchronität können die von der Fahrzeugentwicklung geforderten Standardabweichungen für die ermittelten Objektkoordinaten von maximal 5 mm eingehalten werden. Dies ist bei der

Auswertung asynchron aufgenommener Bildsequenzen ohne Berücksichtigung der Asynchronität zwischen den Bildsequenzen nicht realisierbar.

Die Ergebnisse der beiden Versuche zeigen, dass das vorgestellte Verfahren zur dreidimensionalen photogrammetrischen Auswertung asynchron aufgenommener Bildsequenzen mittels Punktverfolgungsverfahren eine präzise und zuverlässige Berechnung der Objektkoordinaten ermöglicht. Durch die Verwendung des neuen Verfahrens wird die Asynchronität korrekt ermittelt und bei der Objektkoordinatenbestimmung berücksichtigt. Die Standardabweichungen der ermittelten Objektkoordinaten entsprechen den Standardabweichungen, die bei einer Auswertung von synchron aufgenommenen Bildsequenzen erzielt werden. Die negativen Auswirkungen der Asynchronität auf die Objektkoordinatenbestimmung können mit dem neuen Verfahren praktisch vollständig eliminiert werden.

Die Dissertation ist in der Schriftenreihe „Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Geodäsie und Geoinformatik der Leibniz Universität Hannover“ (ISSN 0174-1454) als Heft Nr. 265 erschienen. Gleichzeitig ist die Arbeit in der Reihe C der Deutschen Geodätischen Kommission bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften (ISSN 0065-5325) unter der Nr. 602 online veröffentlicht (www.dgk.badw.de).

Universität Stuttgart

Herr Dipl.-Inf. MARTIN KADA wurde am 27. Juli 2007 von der Fakultät Luft- und Raumfahrttechnik und Geodäsie der Universität Stuttgart mit der Dissertation *Zur maßstabsabhängigen Erzeugung von 3D-Stadtmodellen* zum Dr.-Ing. promoviert.

Hauptreferent: Prof. Dr.-Ing. habil. DIETER FRITSCH, Korreferenten: Prof. Dr. rer. nat. THOMAS ERTL und Prof. Dr.-Ing. habil. MONIKA SESTER.

Kurzfassung:

Die Verbreitung von Geodaten hat mit der Veröffentlichung von Google Earth und Microsoft Virtual Earth einen enormen

Schub erfahren. Neben hoch aufgelösten Luft- und Satellitenbildern sind vor allem auch 3D-Stadtmodelle in den Mittelpunkt des öffentlichen Interesses gerückt. Um dem gerecht zu werden, plant Microsoft beispielsweise die Gebäude von über 500 Städten bis Mitte 2008 dreidimensional zu erfassen und in ihre Plattform zu integrieren. Aber auch Städte und Kommunen steuern dazu bei, indem sie eigene Bestände aufbauen und diese den Betreibern der virtuellen Globen zur Verfügung stellen. 3D-Stadtmodelle werden des Weiteren für geographische Informationssysteme, lokationsabhängige Dienste, Werkzeuge für die Stadtplanung, Umweltsimulationen, Navigationssysteme und urbane Landschaftsvisualisierungen in angereicherten und virtuellen Realitäten benötigt.

Große Probleme stellen derzeit noch die Speicherung, Übertragung und Präsentation solch großer Datenbestände dar. Denn 3D-Stadtmodelle sollen sowohl auf leistungsfähigen Arbeitsplatzrechnern mit Breitbandinternet als auch zukünftig auf mobilen Endgeräten (Telefone, digitale Assistenten, etc.) mit schmalbandiger Netzanbindung nutzbar sein. In Abhängigkeit von der Anwendung selbst, der Leistungsfähigkeit der Hardware, des eingesetzten Kommunikationskanals und dem Kontext des Benutzers werden unterschiedliche Detailstufen benötigt. Diese sind zudem eingeschränkt durch den Maßstab, in dem die räumliche Situation präsentiert wird. Architekten benötigen beispielsweise sehr detaillierte Modelle mit hohen Genauigkeiten, die auf leistungsfähigen CAD-Arbeitsstationen bearbeitet werden. Dagegen bevorzugen Touristen mobile Endgeräte, welche die gewünschten Informationen in einer klaren und intuitiven Art und Weise darbieten. Aufgrund der kleinen Bildschirme und der limitierten Bandbreite der eingesetzten Endgeräte müssen die räumlichen Daten in einer geringen Detailstufe verfügbar sein.

Jedoch ist die Erfassung von 3D-Stadtmodellen sehr zeit- und kostenintensiv. Für eine gesamte Stadt müssen hunderttausende von Gebäuden digitalisiert werden. Es ist daher unmöglich, die Objekte in mehreren

Detailstufen zu erfassen. In der Kartographie werden deswegen großmaßstäbige Grundkarten vorgehalten, um aus diesen kleinmaßstäbige Folgekarten durch Generalisierungsmaßnahmen abzuleiten. Eine dieser Maßnahmen ist die Simplifizierung, welche in Form der geometrischen Vereinfachung von 3D-Gebäudemodellen den Hauptanteil der vorgestellten Arbeit darstellt. Hervorzuheben sind dabei die neu entwickelten Methoden, mit denen beliebige Grundriss- und Dachformen vereinfacht werden können, ohne die globale Form des Objekts zu zerstören. Denn, im Gegensatz zur allgemeinen Flächensimplifizierung aus der Computergrafik, ist es bei der Generalisierung nicht ausreichend, nur die Komplexität und das Datenvolumen zu reduzieren, sondern es soll sich durch den Vorgang auch die kognitive Erfassbarkeit der räumlichen Situation in kartographischen Präsentationen verbessern. Wenn man z. B. die Aufmerksamkeit des Betrachters auf ein spezifisches Gebäude lenken möchte, so kann man die Umgebung mit generalisierten Modellen darstellen, wohingegen das wichtige Gebäude in der originalen oder sogar einer betonenden Gestaltung präsentiert wird. Solch eine Technik macht es einfach, die Örtlichkeiten von Interesse in mobilen Touristeninformationssystemen oder bei der Fußgängernavigation hervorzuheben.

In der Arbeit werden zwei komplementäre Generalisierungsansätze vorgestellt. Der erste arbeitet datengetrieben, indem die Merkmale von Gebäuden in einem iterativen Prozess erkannt und entfernt werden. Merkmale können beispielsweise Ausbuchtungen an der Fassade sein. Die dazu verwendeten Operatoren erhalten strikt die für Gebäude Modelle wichtigen geometrischen Relationen Koplanarität, Parallelität und Rechtwinkligkeit zwischen Flächen. Dies wird durch die Einführung eines so genannten Relationsgraphen sichergestellt, mit dessen Hilfe sich die Gültigkeit von Operationen vorab überprüfen lassen. Die Ausführung ungültiger Operationen wird unterbunden. Nach der geometrischen Vereinfachung erfolgt anschließend eine Anpassung der neuen Gebäudeform an das Originalmodell.

Dadurch werden eventuelle Veränderungen in der Lage und den Proportionen wieder korrigiert, so dass das vereinfachte 3D-Gebäudemodell optimal den Raum des Ursprungsmodells einnimmt.

Während hier auf der Detailebene gearbeitet wird, um kleine Strukturelemente zu eliminieren, erfolgt die Generalisierung im zweiten Verfahren modellgetrieben. Die vereinfachte Form des Gebäudemodells wird, vergleichbar mit der Vorgehensweise eines Steinmetzes, aus einem großen Block nachgebaut. Der Künstler ist in seiner Vorgehensweise jedoch dahingehend eingeschränkt, dass er den Block nur entlang von Ebenen durchschneiden darf. Um eine vereinfachte Version zu erhalten, welche die charakteristische Form des Gebäudes widerspiegelt, muss die Anzahl der durchgeführten Schnitte möglichst minimal sein. Der Vorgang wird durch die Erzeugung einer Zellenzerlegung entlang einer Menge von Schnittebenen simuliert, welche die Fassade und die Dachpolygone des Eingabemodells approximieren. Nach der Zerlegung des Blocks in kleine Fragmente müssen noch diejenigen Stücke entfernt werden, die nicht zum resultierenden Gebäudemodell gehören.

Für die eingangs erwähnten Anwendungen werden nicht nur vereinfachte, sondern auch möglichst detailgetreue 3D-Gebäudemodelle benötigt. Die Konstruktion der Grundriss- und Dachgeometrie aus Luftbildern oder luftgestützt erfasster Laserdaten ist heutzutage mittels kommerzieller Softwarepakete möglich. Dies ist für Fassaden nicht möglich, da diese in der genannten Datengrundlage schlichtweg nicht sichtbar sind. Hier können jedoch terrestrische Bild- und Laserdaten sowie Schrägluftbilder Abhilfe schaffen. Eine wirtschaftliche Erfassung solcher Daten kann aber nur vollautomatisch erfolgen. Hierfür werden im zweiten Teil der Arbeit Verfahren zur bildlichen und geometrischen Ausgestaltung von Fassaden von 3D-Gebäudemodellen beschrieben.

Damit deckt die Arbeit alle Aspekte ab, um vorhandene 3D-Stadtmodelle automatisch in unterschiedliche Maßstabsstufen zu überführen. Für kartenähnliche Präsen-

tionen im kleinen Maßstab ist einerseits die Ableitung von 3D-Gebäudemodellen in ihrer vereinfachten, charakteristischen Form möglich. Andererseits können die Modelle für realistische Darstellungsformen mit Texturbildern oder zusätzlicher Fassadengeometrie angereichert werden.

Die Dissertation ist elektronisch bei der Bibliothek der Universität Stuttgart publiziert worden (elib.uni-stuttgart.de/opus/volltexte/2007/3249).

Technische Universität München

Herr Dipl.-Ing. BORIS JUTZI promovierte am 25. September 2007 an der Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen (Fachgebiet Photogrammetrie und Fernerkundung) der Technischen Universität München mit der Arbeit „*Analyse der zeitlichen Signalform von rückgestreuten Laserpulsen*“ zum Dr.-Ing.

1. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. UWE STILLA, Technische Universität München, 2. Gutachter: Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. NORBERT PFEIFER, Technische Universität Wien.

Kurzfassung:

Bei gepulsten Lasersystemen erfolgt die Bestimmung der Entfernung zu einem angeleuchteten Objekt durch Messung der Laufzeit eines Pulses. Die Zeitmessung wird typischerweise aus einem charakteristischen Wert der empfangenen Signalform des rückgestreuten Pulses bestimmt. Kritische Messsituationen ergeben sich, falls die zeitliche Signalform des rückgestreuten Pulses deformiert ist oder mehr als ein Puls rückgestreut wird. Solche Rückstreuungen ergeben sich sowohl bei natürlichen als auch man-made Objekten wie beispielsweise bei Bäumen mit ihren Ästen und Blattwerk, unterschiedlich weit entfernten Gebäudekanten oder geneigten Dachflächen.

In der vorliegenden Arbeit wird untersucht, ob bei den oben genannten problematischen Messsituationen durch die Analyse der zeitlichen Signalform die Grenzleistung von boden- und luftgestützten Lasersystemen verbessert werden kann. Um die Vielfalt der empfangenen Signalform handha-

ben zu können, wird ein Modell entworfen, dass sowohl die Signalform des emittierten Laserpulses, die örtliche Energieverteilung des Laserstrahls, die Reflexionseigenschaft der Oberfläche als auch die Transmission des Laserstrahls durch die Atmosphäre und die Empfängercharakteristik berücksichtigt. Die Modellierung von komplexen Oberflächen erfordert aufwändige Simulationsrechnungen. Es werden Simulationen zu ebenen Oberflächen mit unterschiedlicher Neigung und sphärischen Oberflächen durchgeführt, wobei unterschiedliche örtliche Energieverteilungen des Laserstrahls berücksichtigt wurden. Durch eine Simulation wurde in der Arbeit der Neigungswinkel einer ebenen Fläche für eine radialsymmetrische zylinderförmige örtliche Energieverteilung aus einer einzigen Messung geschätzt. Es werden sieben Methoden vorgestellt, die zusätzliche Möglichkeiten der Objektbeschreibung aufzeigen. Zur Objektbeschreibung werden Entfernung, Entfernungsvariation und Reflexionsstärke aus der Signalform bestimmt. Diese Merkmale werden untersucht und die erzielten Resultate diskutiert, bewertet und verglichen.

Für die Durchführung der Experimente wurde ein Experimentalsystem aufgebaut, mit dem sowohl die gesendete als auch die empfangene Signalform über der Zeit mit 20 GSamples/s getrennt aufgezeichnet werden können. Dadurch wird es möglich, die Signalform jedes individuellen Pulses detailliert zu vermessen. Es zeigt sich, dass die gesendete Signalform sowohl von den bekannten Modellen (Gauß-, Exponential- oder Rechteckform) erheblich abweicht, als auch in ihrer jeweiligen Ausprägung kaum vorhersehbar ist.

Es wurde mit der Wiener-Filter-Methode ein neues Verfahren zur besseren Unterscheidbarkeit von mehreren Bereichen mit geringer unterschiedlicher Entfernung entwickelt. An einem Beispiel wird gezeigt, dass eine Unterscheidbarkeit bei zwei Bereichen mit einem Entfernungsunterschied von 0,15 m für eine typische Pulslänge von 5 ns möglich ist. Durch die Wiener-Filter-Methode kann eine zeitabhängige Oberflächenrepräsentation bestimmt werden, die eine

von der gesendeten Signalform unabhängige Beschreibung der Oberfläche ermöglicht. Es konnte in Experimenten gezeigt werden, dass mit dieser Methode eine hohe Genauigkeit für die Bestimmung der Entfernung erreicht wird.

Die Dissertation ist an der Technischen Universität München (TUM) veröffentlicht und online verfügbar unter: mediatum2.ub.tum.de/node?id=620987

Technische Universität Wien

Herr Dipl.-Ing. ALEXANDER HARING promovierte am 23. November 2007 am Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der Technische Universität Wien mit der Arbeit *„Die Orientierung von Laserscanner- und Bilddaten bei der fahrzeuggestützten Objekterfassung“* zum Dr. techn.

1. Gutachter: Prof. Dr. JOSEF JANSA, TU Wien, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung; 2. Gutachter: Prof. Dr. WOLFGANG NIEMEIER, TU Braunschweig, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie.

Kurzfassung:

Aufgrund des steigenden Bedarfs an 3D-Geoinformation im städtischen Bereich (für diverse Anwendungsgebiete wie z. B. Lärmschutz, Stadtplanung, Denkmalschutz, Katastrophenschutz, Einsatzplanung) gewinnt der Aufbau von digitalen 3D-Stadtmodellen zunehmend an Bedeutung. Je nach Anwendung ist eine mehr oder weniger detaillierte geometrische Modellierung des urbanen Raumes (Gebäude, Infrastruktureinrichtungen, Straßenraum) erforderlich, wobei in manchen Fällen auch eine Photo-Textur für das Modell verlangt wird.

Die für die Modellierung der Dachlandschaften notwendige Datenerfassung lässt sich mit Hilfe von flugzeuggetragenen Aufnahmeplattformen (Airborne Laser Scanning, Luftbildphotogrammetrie) ökonomisch durchführen. Für die großräumige Datenerfassung des Straßenraums und der straßenseitigen Fassadenlandschaft im innerstädtischen Raum ist man jedoch auf terrestrische Aufnahmesysteme angewiesen, die zwecks Wirtschaftlichkeit fahrzeuge-

gestützte Plattformen darstellen. Solche Aufnahmeplattformen verfügen in der Regel zum einen über Sensoren zur eigentlichen Aufnahmedatenerfassung (z. B. Kamera, terrestrischer Laserscanner, Videokamera) und zum anderen über Navigationssensoren (satellitengestütztes Positionierungssystem (GPS), Inertialsystem, Neigungssensoren, Odometer), mit deren Hilfe der Bezug der aufgenommenen Daten zu einem übergeordneten Referenz-Koordinatensystem hergestellt wird. Dieser Vorgang wird als „Sensororientierung“ oder „Georeferenzierung“ bezeichnet. Bei den meisten bestehenden Aufnahmesysteme spielt die satellitengestützte Positionierung für die Georeferenzierung eine zentrale Rolle. Aufgrund der problematischen Eigenschaften dieses Verfahrens in dicht verbauten, innerstädtischen Gebieten (Abschattungen, Mehrwegeeffekte) kann jedoch nicht immer eine zuverlässige Georeferenzierung gewährleistet werden, vor allem dann, wenn es zu längeren Signalausfällen kommt.

In dieser Arbeit werden Strategien für die Georeferenzierung von terrestrischen Laserscanner und Bilddaten entwickelt, die von einer mobilen Plattform aus im urbanen Raum erfasst worden sind. Dies erfolgt mit dem Ziel, eine allzu starke Stützung der Georeferenzierung auf ein satellitenbasiertes Positionierungssystem zu vermeiden. Weiterhin soll auf ein teures inertiales Navigationssystem (INS) verzichtet werden können. Neben der Verlässlichkeit des Verfahrens wird Hauptaugenmerk auf die geometrische Genauigkeit des Ergebnisses gelegt; deshalb sind Methoden erforderlich, die Angaben über die erzielten Genauigkeiten mitliefern.

Zunächst wird auf Probleme, die im Zuge der Kalibrierung einer solchen Aufnahmeplattform zu lösen sind, eingegangen. Dabei wird sowohl die Kalibrierung der einzelnen Sensoren als auch die Kalibrierung des Gesamtsystems behandelt. Anschließend folgt ein Abschnitt über die Orientierung von terrestrischen Laserscanner-Punktwolken mittels 3D-Matching, wobei eine bestehende Methode zur Lösung der vorliegenden Aufgabenstellung adaptiert bzw. erweitert und

anschließend anhand von Testdatensätzen evaluiert wird.

Danach werden die im Zuge der Arbeit entwickelten Strategien für die Georeferenzierung präsentiert, bei denen Verfahren wie 3D-Matching von Punktwolken, Linienphotogrammetrie sowie merkmalsbasierte Bildzuordnung zum Einsatz kommen, und anhand von praktischen Beispielen näher erläutert. Dabei werden die erzielten Ergebnisse kritisch beurteilt. Die Arbeit endet mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick auf noch offene Forschungsfragen.

Universität Stuttgart

Herr Diplom-Geograph TIMO BALZ promovierte am 3. Dezember 2007 an der Fakultät Luft- und Raumfahrttechnik und Geodäsie der Universität Stuttgart mit der Arbeit *„Echtzeitvisualisierung von SAR-Effekten mittels programmierbarer Grafikkhardware“* zum Dr.-Ing.

1. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. habil. DIETER FRITSCH, Universität Stuttgart, 2. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. UWE STILLA, Technische Universität München, 3. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. ALFRED KLEUSBERG, Universität Stuttgart.

Kurzfassung:

Für die Entwicklung neuer SAR-Systeme sowie bei der Interpretation und Auswertung von SAR-Daten sind SAR-Simulatoren wichtige Hilfsmittel. Die Berechnungszeit der SAR-Simulation spielt dabei, sowohl für viele wissenschaftliche Anwendungen als auch für die Sensorentwicklung eine eher untergeordnete Rolle. Bei der SAR-Echtzeitvisualisierung spielt die exakte Simulation eine Nebenrolle, stattdessen besteht das Ziel darin, SAR-Effekte in Echtzeit zu visualisieren. Jedoch sind damit weder neue Sensoren noch neue Konfigurationen zu simulieren bzw. zu entwickeln. Die Anwendungsbereiche liegen in der interaktiven Anwendung, z. B. bei der SAR-Auswertung, oder in der Bereitstellung simulierter Daten für automatische Mustererkennungsverfahren. Auch für die Missionsplanung oder für

die Lehre und Ausbildung ist die Rechenzeit ein entscheidender Faktor.

Mittels der immer leistungsfähigeren und flexibler programmierbaren Grafikkarten können SAR-Effekte in Echtzeit visualisiert werden. Radarbilder unterscheiden sich in vielerlei Hinsicht von den Bildern passiver Fernerkundungssysteme. Die Abbildungsgeometrie eines Radarbildes ist in Flug- und Entfernungsrichtung unterschiedlich. In Entfernungsrichtung basiert die Abbildung auf einer Laufzeit- bzw. Distanzgeometrie. In Flugrichtung basiert die Abbildung hingegen auf dem Dopplereffekt. Bei der Simulation von SAR-Bildern müssen diese Unterschiede berücksichtigt werden. Die rasante Entwicklung auf dem Gebiet der Computergrafik erlaubt eine immer realistischere Darstellung virtueller Welten. Vor allem Computerspiele nutzen 3D-Grafikkarten zur Visualisierung komplexer Szenen. Zudem wird die Rechenleistung der modernen Grafikkhardware zur Datenvisualisierung, aber auch zur Lösung mathematischer Probleme verwendet.

Diese Technik kann auch zur Darstellung von Radardaten benutzt werden. Hierfür sind allerdings einige Anpassungen nötig. Die durch den so genannten Vertex-Shader der Grafikkarte dynamisch veränderten Geometrien werden an den Pixel-Shader weitergereicht. Dieser ist für die Berechnung der Radiometrie zuständig. Durch die flexible Programmierbarkeit der Pixel-Shader können unterschiedliche Methoden zur Berechnung der Rückstreuung elektromagnetischer Wellen implementiert werden.

Die Echtzeitvisualisierung hat jedoch auch ihre Grenzen. Im Gegensatz zu der üblicherweise in SAR-Simulatoren verwendeten Ray-Tracing-Methode werden bei der auf der Grafikkarte berechneten Rasterisierung die Strahlen nicht verfolgt. Deswegen können keine Mehrfachreflexionen dargestellt werden.

SAR-Effektvisualisierung in Echtzeit eröffnet dem Nutzer eine Vielzahl neuer Möglichkeiten. Die Interaktivität der Simulation führt zu Verbesserungen in der Missionsplanung, der Lehre und bei der Auswertung von SAR-Daten. Die fehlenden Mehrfach-

reflexionen sind für viele Anwendungen irrelevant. Von der rasanten Entwicklung im Bereich der Computergrafik kann die SAR-Simulation profitieren. Der Einsatz von Grafikhardware für die SAR-Simulation ist ein neuer Ansatz, der dies ermöglicht.

Die Dissertation ist an der Universität Stuttgart veröffentlicht und online verfügbar unter: elib.uni-stuttgart.de/opus/volltexte/2007/3369/

Leibniz Universität Hannover

Herr Dipl.-Ing. (FH) AXEL WENDT promovierte am 19. Dezember 2007 an der Fakultät für Bauingenieurwesen und Geodäsie der Leibniz Universität Hannover mit der Arbeit „Objektraumbasierte simultane multisensorale Orientierung“ zum Dr.-Ing.

Hauptreferent: Univ.-Prof. Dr.-Ing. CHRISTIAN HEIPKE, Leibniz Universität Hannover, *Korreferenten:* Univ.-Prof. Dr.-Ing. ARMIN GRÜN, ETH Zürich und Dr.-Ing. CLAUDIUS BRENNER, Leibniz Universität Hannover, *Gutachter:* Prof. Dr.-Ing. THOMAS LUHMANN, FH Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelmshaven.

Kurzfassung:

Die Orientierungsbestimmung von Aufnahmestandpunkten bildgebender Messsysteme stellt eine der grundlegenden Aufgaben in der Photogrammetrie dar. Die Erhöhung der Automation, der Robustheit und der Genauigkeit ist dabei Gegenstand aktueller Forschungsarbeiten. Bisher wird für die Orientierungsbestimmung in der Regel ein Bild datentyp eines Messsystems verwendet. Im Rahmen dieser Arbeit wird untersucht, inwieweit das Potential der Orientierungsbestimmung unter simultaner Verwendung multisensoraler Bilddaten erhöht werden kann. Die Orientierungsparameter werden ausschließlich anhand der Bildinformationen und ohne synthetische Markierungen bestimmt. Die Bilddaten werden z. B. durch die Kombination verschiedener Messsysteme und der Verwendung aktueller 3D-Laserscannersysteme zur Verfügung gestellt.

Für die Orientierungsbestimmung durch multisensorale Bilddaten wird in dieser Ar-

beit eine neue zweistufige, objektraumbasierte Methode vorgestellt und am Beispiel der Gebäudefassadenerfassung durch terrestrische bildgebende Messsysteme evaluiert. Die Gebäudefassaden können durch Aufnahmestandpunkte digitaler photogrammetrischer Kameras, 3D-Laserscanner und *kombinierter Messsysteme*, die aus einem 3D-Laserscanner und einer digitalen photogrammetrischen Kamera bestehen, aufgenommen werden. Die Messsysteme erzeugen Helligkeits-, Entfernungs- und Intensitätsbilder, die simultan radiometrische und geometrische Informationen zur Orientierungsbestimmung zur Verfügung stellen. Die Entfernungsbilder liefern direkt eine initiale Oberflächenapproximation.

In der ersten Stufe werden die Aufnahmestandpunkte durch ein merkmalsbasiertes Zuordnungsverfahren paarweise zueinander orientiert. In dem Verfahren müssen keine Näherungswerte für die Orientierungsparameter vorliegen. Stattdessen wird aber für die Merkmalsextraktion vorausgesetzt, dass von jedem Aufnahmestandpunkt ein Helligkeits- und Entfernungsbild vorliegt, wie es z. B. bei *kombinierten Messsystemen* der Fall ist. Die Merkmale werden durch die simultane Berücksichtigung von Helligkeits- und Entfernungsbildern detektiert und beschrieben. Durch eine robuste, in Anlehnung an die RANSAC-Methode entwickelte und modifizierte Zuordnungsstrategie, werden *konsistente Korrespondenzen* zwischen den Aufnahmestandpunkten bestimmt, mit denen in einem abschließenden Schritt die Parameter der *Äußerer Orientierung* bei bekanntem Maßstab berechnet werden.

In der zweiten Stufe werden die Aufnahmestandpunkte durch einen flächenbasierten Zuordnungsansatz, unter Voraussetzung von Näherungswerten für die Orientierungsparameter, orientiert. Im Vergleich zu der ersten Stufe können hierbei beliebig viele Aufnahmestandpunkte von einer photogrammetrischen Kamera, einem 3D-Laserscanner und einem *kombinierten Messsystem* simultan einbezogen werden. Zudem wird die Objektoberfläche innerhalb der Ausgleichung nach der Methode der Kleinsten-Quadrate simultan rekonstruiert, die

damit eine optimale Oberflächenfunktion darstellt, um die Genauigkeit dieses flächenbasierten Orientierungsansatzes zu erhöhen.

Durch die experimentellen Untersuchungen wird die Funktionalität der beiden Stufen nachgewiesen und bewertet. Es wird deutlich, dass mit beiden Stufen der Methode Aufnahme Standpunkte mit stark perspektiv verzerrten Bildern orientiert werden können und dass die Genauigkeit der bestimmten Orientierungsparameter der ersten Stufe innerhalb des Konvergenzradius der zweiten Stufe fällt. Durch die Untersuchungen mit der zweiten Stufe wird weiter nachgewiesen, dass sich die Genauigkeit der Orientierungsbestimmung durch die simultane Oberflächenrekonstruktion im Vergleich zu einer als konstant eingeführten Objektfläche erhöhen lässt, und dass sich die innere Genauigkeit der geschätzten Orientierungsparameter durch die zweite Stufe im Vergleich zur ersten Stufe steigern lässt. Auch wird die Möglichkeit der Orientierungsbestimmung zwischen individuellen Helligkeitsbildern und existierenden Entfernungsbildern und Intensitätsbildern von einem Laserscanner demonstriert und diskutiert.

Insgesamt zeigen die exemplarischen Untersuchungen anhand von zwei realen Datensätzen eines terrestrischen, kombinierten

Messsystems viel versprechende Ergebnisse, die auf ein gesteigertes Potential der Orientierungsbestimmung durch die simultane Verwendung multisensoraler Bilddaten schließen lassen.

Die Dissertation ist veröffentlicht unter: Deutsche Geodätische Kommission, Reihe C, Nr. 613 (ebenfalls in: Wissenschaftliche Arbeiten der FR Geodäsie und Geoinformatik der Leibniz Universität Hannover, Nr. 270), 2008, 139 S.

Technische Universität Berlin

Nachdem Frau Dr. BARBARA THEILEN-WILLIGE seit 1999 Lehraufträge von der TU Berlin erhalten hatte, sich am 18. Oktober 2000 an der Fakultät IV der TU Berlin habilitierte, am 12. April 2002 die Lehrbefugnis für das Fach Geoinformationssysteme und Fernerkundung in den Angewandten Geowissenschaften in der Fakultät VI der TU Berlin und damit die Privat-Dozentur erhielt, wurde ihr am 30. Januar 2008 die Urkunde über die Verleihung einer außerplanmäßigen Professur für das Fach Geoinformationssysteme und Fernerkundung vom Vize-Präsidenten der TU Berlin überreicht.

Buchbesprechung

HORST KREMERS & ROLF LESSING, (HRSG.), 2007: Proceedings LCL 2007, International CODATA Symposium on LandCover Logic.

In dem von Horst Kremers und Rolf Lessing herausgegebenen Tagungsband in der Reihe *Lecture Notes in Information Sciences* sind neun Beiträge unter dem Oberbegriff Landbedeckung zusammengetragen. Die Beiträge untergliedern sich in die Themenbereiche Erstellung, Prozessierung und Anwendung von Geodaten, wobei ein weit gefächertes Spektrum von der Fernerkundung bis zur

Interoperabilität von Geodaten abgedeckt wird.

Ein Schwerpunktthema der Beiträge ist die originäre Erstellung von Geodaten aus Fernerkundungsdaten, sowie die Aktualisierung und Erweiterung von Geodaten unter Nutzung von Fernerkundungsdaten. Ebenso wird die Ableitung von CORINE-Daten aus topographischen Referenzdaten thematisiert. Ein Beitrag in dem vorgestellten Band beschäftigt sich mit dem Thema Änderungsdetektion in CORINE-Daten. Weitere Themen sind der Interoperabilitätsaspekt für den semantischen Vergleich ver-

schiedener Geodaten sowie Methoden zur Überprüfung der logischen Konsistenz von Geodaten. Zwei Beiträge sind im Anwendungsbereich von Landbedeckungsdaten zu sehen und behandeln planerische Aspekte unter Verwendung dieser Daten.

Der Tagungsband gibt einen Einblick in aktuelle Themen aus dem Bereich Landbedeckung und Landnutzung, insbesondere vor dem Hintergrund aktueller europäischer und internationaler Initiativen wie GMES und GEOSS. Anhand aktueller Beispiele wird illustriert, wie verschiedene Firmen und Institutionen auf die unterschiedlichen Herausforderungen dieses Themenbereichs reagieren und zu praktischen Lösungen beitragen.

PETER HOFMANN &
SÖNKE MÜLLER, Hannover

JÖRG BLANKENBACH, 2007: Handbuch der mobilen Geoinformation. Architektur und Umsetzung mobiler standortbezogener Anwendungen und Dienste unter Berücksichtigung von Interoperabilität. Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg.

Das Buch ist das erste deutschsprachige Werk zu mobilen GIS und gibt einen sehr guten Überblick, wie Geodaten bzw. Geoinformationen für mobile Szenarien nutzbar gemacht werden können und erläutert, wie die komplexen Applikationen des Mobile Computing, die drahtlose und die drahtgebundene IT einschließlich der Kommunikationsnetze, Protokolle, Austauschformate und spezifischen Hard- und Software vereint.

Das Buch gliedert sich in zwei Hauptteile: A Einführung und Grundlagen - B Entwicklung, Anwendungen und Interoperabilität.

Zunächst werden sehr detailliert die Begrifflichkeiten, die für *mobile standortbezogene Anwendungen und Dienste* verwendet werden, geklärt, definiert und abgegrenzt. Dies erleichtert den Einstieg in die Thematik der mobilen Geoinformation. Das umfang-

reiche Kapitel *Technologie mobiler standortbezogener Anwendungen und Dienste* befasst sich mit der gesamten Bandbreite der Technik von der Nachrichtenübertragung über die Netzwerke und die GSM Dienste bis hin zu der Hardware, Software und Datenhaltung für die mobilen Endgeräte. Ausführlich werden hier auch die Positionsbestimmungsverfahren für Location Based Services (LBS) und mobile GIS behandelt. Der Autor vertieft insbesondere den Bereich der netzwerkgestützten Positionsbestimmung, geht aber genauso auf zukünftige Möglichkeiten mit Galileo oder A-GPS ein. Im Kapitel *Architektur von Anwendungen für das Internet* werden die Protokolle und Kommunikationsmechanismen einschließlich der Sicherheitsaspekte bei den mobilen Anwendungen erläutert, die für ein Internet GIS notwendig sind.

Im zweiten Hauptteil werden zunächst die Grundlagen und Voraussetzungen einer *Interoperabilität mobiler standortbezogener Web-Anwendungen* zusammengetragen. Dabei geht der Autor u. a. auf die Standardisierungsorganisationen, Sprachen (XML, GML, SVG, . . .) und auch auf die Web-Services ein. Für die Realisierung der verteilten Dienste mit Plattform-unabhängigen Programmen eignet sich besonders *Java als Hochsprache für mobile Anwendungen und Dienste*. Umsetzungsmöglichkeiten und Potenziale werden aufgezeigt. Die ausführlich beschriebenen *Beispielanwendungen zur Interoperabilität* zeigen deutlich die Bandbreite der Anwendungsmöglichkeiten und gehen in verschiedener Tiefe auf die vorher theoretisch behandelten Aspekte ein. Ein kurzer *Ausblick zur mobilen Geoinformation*, der nochmals die Möglichkeiten des noch recht jungen Forschungsgebietes aufzeigt, rundet das Gesamtbild ab.

Der Band impliziert mit seinem Titel einen Anspruch des Lesers auf ein Nachschlagewerk, das für Fragestellungen rund um den Bereich der mobilen Geoinformation als Quelle für entsprechende Information gewählt werden kann. Diesen Anspruch erfüllt das Buch in hervorragender Weise. Das Buch besitzt nicht nur ein gut aufgebautes Stichwortverzeichnis und ein umfangreiches

Abkürzungsverzeichnis, sondern auch die Kapitel und Unterkapitel sind so aufgebaut, dass sie zu den einzelnen Fragestellungen abgeschlossene, klare Definitionen, Erklärungen, erläuternde Graphiken und auch oft Anwendungsmöglichkeiten liefern. Die Einzelkapitel sind sehr gut verständlich und ermöglichen ein gezieltes Informieren und Vertiefen, ohne das ganze Buch lesen zu müssen. Das Eintauchen in die komplexe Materie wird durch den didaktisch gelungenen Aufbau erleichtert, indem zunächst die wichtigsten Definitionen und Erklärungen in wenigen präzisen Sätzen gegeben werden. Eine weitere Vertiefung findet in den nachfolgenden Unterkapiteln statt und kann durch die umfangreiche Literaturangaben noch weiter spezialisiert werden. Die Unter-

kapitel werden durch eine Zusammenfassung oder eine Beurteilung abgeschlossen. Die Abbildungen sind in einer sehr guten Qualität, anschaulich und die komplexen Sachverhalte erklärend, was sich besonders positiv bei dem Verständnis der vielschichtigen Zusammenhänge aus den Nachbardisziplinen, wie z. B. der Nachrichtenübertragung auswirkt.

Das Buch vermittelt nicht nur die Theorie der mobilen Geoinformation, sondern auch die aktuelle Umsetzung in der Praxis und ist damit gleichermaßen für Fachfremde als Einstieg in die Thematik, als auch für Fachleute als Nachschlagewerk hervorragend geeignet.

HARALD STERNBERG, Hamburg

Mitteilungen der Schriftleitung

Korporatives Mitglied: GEOSYSTEMS GmbH

Leider fehlte im Heft 7/2007 die Firmendarstellung der GEOSYSTEMS GmbH, die hier in Kurzform folgt:

Seit über 18 Jahren ist GEOSYSTEMS Ihr kompetenter Partner für geographische Datenverarbeitung. Als exklusiver Distributor für Software-Produkte von Leica Geosystems Geospatial Imaging in Deutschland vertritt GEOSYSTEMS anerkannt leistungsstarke Produkte zur fernerkundlichen

Bildauswertung, digitalen Photogrammetrie, Visualisierung, Bilddatenkompression und Datenmanagement. Lösungen von Leica Geosystems decken den Desktopbereich und das Geodatenmanagement in unternehmensweiten Geschäftsprozessen ab. Sie unterstützen webbasierte Anwendungen sowie mobile und Desktop Endgeräte und bieten bestmögliche Interoperabilität durch OGC- und ISO-Standards. Eine ausführliche Firmenbeschreibung finden Sie unter www.dgpf.de.

Veranstaltungskalender

2008

23.–26. April: **Gemeinsame Jahrestagung 2008 von DGPF und DGfK** in Oldenburg.

– **28. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung** der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation e.V.; DGPF (www.dgpf.de).

– **56. Deutscher Kartographentag**; Deutsche Gesellschaft für Kartographie e.V., DGfK (www.kartographentag.net).

9.–14. Mai: WG VI/6 **International Summer School ‘3D Modeling in Archaeology and Cultural Heritage’** in Ascona, Switzerland. Info: www.3darchaeology.org

12.–14. Mai: 6th **International Conference on Computer Vision Systems** in Santorin, Griechenland. e-mail: chair@icvs2008.info, icvs2008.info

29.–30. Mai: 4. **GIS-Ausbildungstagung in Potsdam**. Kontakt: Prof. Dr. Jochen Schiewe, HafenCity Universität Hamburg, jochen.schiewe@hcu-hamburg.de, gis.gfz-potsdam.de

2.–7. Juni: 28th **EARSeL Symposium & Workshops “Remote Sensing for a Changing Europe”** in Istanbul, Turkey. Info: www.earsel28.itu.edu.tr

6. Juni: Forum Geoinformation **“Airborne Laserscanning“**, Hochschule München. Info: www.hm.edu/geo

10.–12. Juni: **GIS/SIT 2008 – Schweizer Forum für Geoinformation**, Universität Zürich-Irchel, Schweiz. Info: www.akm.ch/gis_sit2008

14.–19. Juni: **FIG XXXI General Assembly & Working Week in Stockholm**. Auskünfte durch: FIG Office, e-mail: fig@fig.net, www.fig.net/events/2008/fig_2008_stockholm.pdf

20.–21. Juni: 11th **ICA Workshop on Map Generalisation and Multiple Representations**, Montpellier, France. Info: ica.ign.fr

24.–25. Juni: 5. **Hamburger Forum für Geomatik** im Bürgerhaus **Hamburg-Wilhelmsburg**. Info: www.hcu-hamburg.de/geomatik/forum2008

24.–26. Juni: **IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition in Anchorage**, Alaska, USA. vision.eecs.ucf.edu

30. Juni–3. Juli: **International Workshop on Computational GeoInformatics – COMP-GEO’08**, University of Perugia, Italy. Info: www.gdmc.nl/compgeo

1.–4. Juli: **Geoinformatics Forum Salzburg (GI_Forum2008)**. Info: www.gi-forum.org

3.–11. Juli: **XXI ISPRS Kongress in Beijing**, China. Auskünfte: Prof. Chen Jun (Congress Director), e-mail: congressdirector@isprs2008-beijing.org oder loc@isprs2008-beijing.org, Info: www.isprs2008-beijing.org

13.–20. Juli: 37th Scientific Assembly of the **Committee on Space Research & Associated Events – COSPAR 2008**, “50th Anniversary Assembly” in Montreal, Kanada. Auskünfte: COSPAR Secretariat, Tel.: +33-1-44-767510, e-mail: cospar@cosparhq.cnes.fr

4.–9. August: **GEOBIA 2008 – Pixels, Objects, Intelligence: “Geographic Object Based Image Analysis for the 21st Century”** in Calgary, Canada. Auskünfte: Geoffrey J. Hay, Tel.: +1-403-220-4768, e-mail: gjhay@ucalgary.ca, www.ucalgary.ca/GEOBIA

8.–11. September: 10th International Symposium on **High Mountain Remote Sensing Cartography (HMRSC-X) in Kathmandu**, Nepal. e-mail: pmool@icimod.org, menris.icimod.net/HMRSC-X

17.–18. September: Praxisworkshop **“GIS & Internet“**, Veranstalter: Arbeitsgemeinschaft GIS, Universität der Bundeswehr München. Info: www.unibw.de/bauv11/geo-informatik

22.–23. September: **AgA – Arbeitsgruppe Automation in Kartographie, Photogrammetrie und GIS in Frankfurt am Main** beim Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Info: www.ikg.uni-hannover.de/aga

30. September – 2. Oktober: **INTERGEO 2008 in Bremen**. Info: www.intergeo.de/deutsch/page/main/index.php

8.–9. Oktober: 2. **Hamburger Forum Geoinformationen für die Küstenzone** an der HafenCity Universität **Hamburg**. Info: www.gis-kueste.de

12.–18. Oktober: **ECCV 2008 – European Conference on Computer Vision in Marseille**. eccv2008.inrialpes.fr

12.–14. November: **Digital Earth Summit on Geoinformatics: Tools for Global Change Research**. Wissenschaftspark Albert Einstein, Potsdam. Info: www.isde-summit-2008.org

8.–11. Dezember: 19th **International Conference on Pattern Recognition in Tampa**, Florida, USA. Tampa Convention Center, www.icpr2008.org

2009

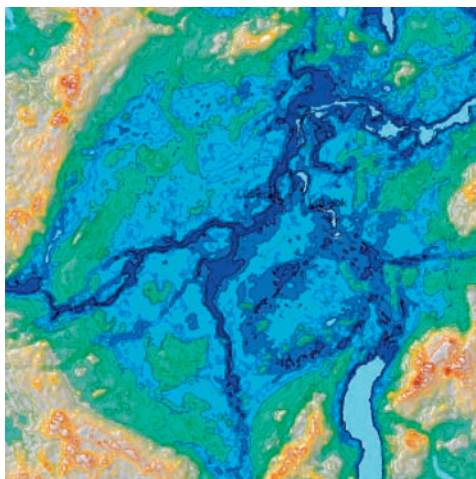
16.–19. März: **ISPRS WG VIII/12, 6th EARSel SIG IS Workshop “IMAGING SPECTROSCOPY: Imaging Spectroscopy: Innovative tool for scientific & commercial environmental applications”** in **Tel-Aviv**, Israel. Auskünfte: Prof. Eyal Ben-Dor, e-mail: bendor@post.tau.ac.il, www.earsel6th.tau.ac.il

29. September – 2. Oktober: **ICCV2009 – International Conference on Computer Vision in Kyoto**, Japan. Info: www.iccv2009.org

Zum Titelbild

Die „Ringstruktur“ von Lübeck

Digitale Höhendaten (Daten der Shuttle Radar Topography Mission - SRTM, 2000) der Lübecker Bucht wurden mit Methoden



der digitalen Bildverarbeitung aufbereitet und in ein Geografisches Informationssystem (GIS) integriert. Morphometrische Kartenprodukte wie die abgebildete Höhenschichtenkarte lassen das Gebiet von Lübeck wie eine „Ringstruktur“ erscheinen. Dies zeigt auch Abb. 4 im Beitrag von Barbara Theilen-Willige und Götz Schneider in diesem Heft.

Die Lübecker Bucht liegt geologisch betrachtet im Bereich weichseleiszeitlicher Ablagerungen, die aus Geschiebedecksanden und unterlagertem Geschiebelehmen sowie Geschiebemergel bestehen. Zu den eiszeitlichen Sedimenten kommen noch alluviale Ablagerungen im Bereich der Flüsse hinzu, sowie holozäne Flugsanddecken nach mittelalterlicher Verheidung und Moorbildungen vor allem in abflusslosen Senken. Im Untergrund von Lübeck befinden sich zudem Salzstrukturen.

Für die Entstehung dieser ringförmigen Struktur, die sich auf der Höhengschichtenkarte deutlich abzeichnet, können folgende geologische Ursachen diskutiert werden:

1. **Halokinese:** Salzformationen des Perms und der Trias, die vor mehr als 200 Millionen Jahren entstanden sind, gerieten im Untergrund Nord-Deutschlands als massenbeweglicher, duktil verformbarer und relativ „leichter“ Gesteinsverband in Bewegung. Die Salinargesteine wurden unter den erhöhten Druck- und Temperaturbedingungen des Deckgebirges kriechfähig und stiegen aus Tiefen über 5000 m teilweise bis an die Erdoberfläche auf. Die antreibende Kraft für den Aufstieg von Salzgesteinen in das nicht-salinare Deckgebirge ist die Schwerkraftwirkung bedingt durch Dichteunterschiede zwischen dem spezifisch leichteren Steinsalz im tieferen Untergrund und seiner spezifisch schwereren Bedeckung. Die Salzgesteine erreichten zunächst über das beulenartige Salzkissenstadium in mehreren Schüben schließlich Diapirform (Salzstock). Salzstöcke bewegten sich in diesem Gebiet nachweislich auch noch seit der letzten Überdeckung mit eiszeitlichen Ablagerungen. An der Oberfläche wurden durch halokinetische Bewegungen und Salzauslaugung einzelne Bereiche gehoben, andere senkten sich. Im Untergrund von Lü-

beck wurden ebenfalls Salzstrukturen vorgefunden. Die Ringstruktur von Lübeck entstand sehr wahrscheinlich durch Auslaugung der darunter liegenden Salzschieben (Subrosion) und ringförmiges „Nachsacken“ der darüber liegenden Schichten.

2. **Eintiefung durch Gletschereis:** Von Skandinavien kommende Gletschereismassen drangen während der letzten Eiszeit lobenartig in die Lübecker Bucht ein und überformten das Relief. Dies führte zu einer Abrasion und Erosion (Ausräumung) von Lockermaterial und Vertiefung des Reliefs.

Da auch die Nordhälfte der Ringstruktur ausgeprägt ist (was bei einer ausschließlichen Entstehung durch Gletscherzungen von Norden kaum möglich wäre), ist anzunehmen, dass der Anteil von halokinetischen Vorgängen bei der Entstehung dieser Ringstruktur ausschlaggebend ist.

Diese Auswertungen zeigen, dass durch die Analyse von SRTM-Daten ein Beitrag zum Verständnis des Untergrundeinflusses auf die Reliefentwicklung geleistet werden kann.

Prof. Dr. habil. BARBARA THEILEN-WILLIGE, Birkenweg 2, D-78333 Stockach, e-mail: Barbara.Theilen-Willige@t-online.de

Neuerscheinungen

RÜDIGER MACH & PETER PETSCHKE, 2006: Visualisierung digitaler Gelände- und Landschaftsdaten. XVIII, 363 S., 263 Abb., ISBN 978-3-540-30532-3, Springer Berlin Heidelberg.

CARSTEN STEGER, MARKUS ULRICH, CHRISTIAN WIEDEMANN, 2007: Machine Vision Algorithms and Applications. 1. Auflage – Oktober 2007, 370 Seiten, Softcover. ISBN 978-3-527-40734-7, Wiley-VCH, Berlin.

HORST KREMERS & ROLF LESSING, (HRSG.), 2007: Proceedings LCL 2007, International CODATA Symposium on LandCover Logic, Bonn, 28.–29. November 2007, ISBN 978-3-00-023310-4.

PETER KORDUAN & MARCO L. ZEHNER, 2008: Geoinformation im Internet. Technologien zur Nutzung raumbezogener Informationen im WWW. XII, 314 Seiten, kartoniert. ISBN 978-3-87907-456-3, Herbert Wichmann Verlag, Heidelberg.

Korporative Mitglieder

Firmen

AEROWEST GmbH
 AICON 3D Systems GmbH
 aphos Leipzig AG
 Applanix Corporation
 Becker & Keller, Beratende Ingenieure
 Bernhard Harzer Verlag GmbH
 Blom Deutschland GmbH
 Brockmann-Consult
 BSF Luftbild GmbH
 Büro Immekus
 CGI Systems GmbH
 con terra GmbH
 CONPIE GmbH
 Creaso GmbH
 DEFINIENS AG
 DELPHI IMM GmbH
 Deutsches Bergbau-Museum
 J. Linsinger ZT-GmbH
 EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH
 ESG Elektroniksystem- und Logistik-GmbH
 ESRI Geoinformatik GmbH
 EUROPEAN SPACE IMAGING
 Eurosense GmbH
 fokus GmbH
 fpi Fuchs Ingenieure GmbH
 FPK Ingenieurgesellschaft mbH
 g.on experience gmbh
 GAF GmbH
 GeoCad GmbH
 GeoCart Herten GmbH
 GeoContent GmbH
 geoplana Ingenieurgesellschaft mbH
 GEOSPACE Beckel GmbH
 GEOSYSTEMS GmbH
 GGS – Büro für Geotechnik, Geoinformatik, Service
 GIP Geoinformatics & Photogrammetric Engineering
 Hansa Luftbild AG
 Herbert Wichmann Verlag Hüthig GmbH
 IGI – Ingenieur-Gesellschaft für Interfaces mbH
 ILV Ing.-büro für Luftbildausw. und Vermessung
 Imetric 3D GmbH
 Dr. H. Carls Luftbilddatenbank
 Inpho GmbH
 Intergraph GmbH, Geschäftsbereich Z/I Imaging
 INVERS – Industrievermessung & Systeme
 Jena-Optronik GmbH
 Johan Piedfort Photogrammétrie
 KAZ Bildmess GmbH
 Leica Geosystems GmbH
 Luftbild Brandenburg GmbH
 MAPS geosystems GmbH
 Messbildstelle GmbH
 Microsoft Photogrammetry
 PHOENICS GmbH
 PMS – Photo Mess Systeme AG
 Rollei Metric GmbH
 RWE Power AG, Geobasisdaten/Photogrammetrie
 technet GmbH
 TERRA-Bildmessflug GmbH & Co.

TerraVista Umweltdaten GmbH
 TopoSys GmbH
 TRIGIS Vermessung + Geoinformatik GmbH

Behörden

Amt für Geoinformationswesen der Bundeswehr
 Amt für ländliche Räume Husum
 Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft
 Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
 Bundesmin. für Ern., Landw. und Verbraucherschutz
 DB Netz AG
 Hess. LA für Bodenmanagement und Geoinformation
 Innenministerium NRW, Gruppe Vermessungswesen
 Inst. für Umwelt- und Zukunftsforschung
 LA für Vermessung und Geoinformation, München
 Landesbetrieb Geoinformation und Verm., Hamburg
 Landesvermessung und Geobasisinformation Nieders.
 Landesvermessungsamt Baden-Württemberg
 Märkischer Kreis, Vermessungs- und Katasteramt
 Regierungsprä. Stuttgart, LA für Flurneuordnung
 Regierungsprä. Tübingen, Abt. 8 Forstdirektion
 Regionalverband Ruhr
 Staatsbetrieb Sachsenforst Pirna
 Stadt Bocholt, Fachbereich 31
 Stadt Düsseldorf, Vermessungs- und Katasteramt
 Stadt Köln, Amt für Liegensch., Verm. und Kataster
 Stadt Wuppertal, Verm., Katasteramt und Geodaten
 Thüringer LA für Vermessung und Geoinformation

Hochschulen

BTU Cottbus, Lehrstuhl für Vermessungskunde
 FH Bochum, FB Vermessungsw. und Geoinformatik
 FH Frankfurt a.M., FB 1, Studiengang Geoinformation
 FH Karlsruhe, FB Geoinformationswesen
 FH Mainz, Inst. f. Raumbez. Inform.- und Messtechn.
 FH Oldenburg, Inst. für Angew. Photogr. und Geoinf.
 HCU HafenCity Uni Hamburg, Department Geomatik
 HT Stuttgart, Vermessung und Geoinformatik
 HTW Dresden, FB Vermessungswesen/-Kartographie
 Ruhr-Uni Bochum, Geographisches Institut
 RWTH Aachen, Geodätisches Institut
 TU Berlin, Computer Vision & Remote Sensing
 TU Braunschweig, Inst. für Geodäsie und Photogr.
 TU Clausthal, Inst. für Geotechnik und Markscheidew.
 TU Darmstadt, Inst. für Photogrammetrie und Kartogr.
 TU Dresden, Inst. für Photogrammetrie und Fernerk.
 TU Freiberg, Inst. für Geologie, RSG
 TU München, FG Photogrammetrie und Fernerk.
 TU Wien, Inst. für Photogrammetrie und Fernerk.
 Uni Bonn, Inst. für Photogrammetrie
 Uni Göttingen, Inst. für Waldinv. und Waldwachstum
 Uni Hannover, Inst. für Kartogr. und Geoinformatik
 Uni Hannover, Inst. für Photogrammetrie und Geoinf.
 Uni Heidelberg, IWR Interdis. Zentr. f. Wiss. Rechnen
 Uni Karlsruhe, Inst. für Photogrammetrie und Fernerk.
 Uni Kiel, Geographisches Institut
 Uni zu Köln, Geographisches Institut
 Uni Stuttgart, Inst. für Photogrammetrie
 Uni Würzburg, Geographisches Institut