

PRG

Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation

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

Jahrgang 2005, Heft 4

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

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

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



E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung
(Nägele u. Obermiller) Stuttgart 2005



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

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



International Society
for Photogrammetry
and Remote Sensing

DAGM

Deutsche Arbeits-
gemeinschaft für
Mustererkennung e.V.



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

Herausgeber:

© 2005 Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) e.V.
Präsident: Prof. Dr.-Ing. Thomas Luhmann, Fachhochschule Oldenburg Ostfriesland Wilhelmshaven, Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik, Ofener Str. 16, D-26121 Oldenburg, Tel.: +49-441-7708-3172, e-mail: Praesident@dgpf.de, www.dgpf.de
Geschäftsstelle: Dr. Klaus-Ulrich Komp, c/o EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH, Ostmarkstraße 92, D-48145 Münster, e-mail: klaus.komp@eftas.com

Published by:

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

© Gedruckt auf alterungsbeständigem Papier nach ISO 9706-1994

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

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

Verantwortlich für den Inhalt der Beiträge sind die Autoren.

ISSN 1432-8364

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

Schriftleiter: Prof. Dr. rer. nat. Carsten Jürgens, Ruhr-Universität Bochum, Geographisches Institut, Gebäude NA 7/133, D-44780 Bochum, e-mail: carsten.juergens@rub.de und Dr.-Ing. Eckhardt Seyfert, Landesvermessung und Geobasisinformation Brandenburg, Heinrich-Mann-Allee 103, D-14473 Potsdam, e-mail: eckhardt.seyfert@lvermap.brandenburg.de
Erscheinungsweise: 7 Hefte pro Jahrgang.

Bezugspreis im Abonnement: € 118,- pro Jahrgang. Mitglieder der DGPF erhalten die Zeitschrift kostenlos.

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

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

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

PFG – Jahrgang 2005, Heft 4

Inhaltsverzeichnis

Originalbeiträge

HEISIG, H., KÜHNLE, C., PAREDES, L. & WIESEL, J.: GIS based Forest Biomass Exploitation for Energy Supply in the Northern Black Forest Region ..	273
LÖWNER, M.-O., DÖRSCHLAG, D. & PLÜMER, L.: GeoSaMT – ein Konzept zur Kartierung und semantischen Modellierung von steilen Hangbereichen	281
POMASKA, G. & DEMENTIEV, N.: XML basierte Datenformulierung zur Web-konformen Dokumentation photogrammetrischer Bauaufnahmen	291
WÄLDER, O.: Eine Gegenüberstellung von Reliefapproximationen mithilfe von Verfahren der Ausgleichsrechnung und der Spline-Theorie	303
MEIER, S. & STEININGER, S.: Linienglättung mit Snakes als Filteroperation	311

Aus Wissenschaft und Technik

KÖHLER, P., LECHTENBÖRGER, C. & MÜLLER, M.: Risikokarte Deutschland – Methoden und Werkzeuge zur Datenbereitstellung	321
NEUMANN, K.: Scannen von Luftbildern nach DIN 18740-2	329

Berichte und Mitteilungen

Berichte

2 nd Panoramic Photogrammetry Workshop am 24./25.2.2005 in Berlin ..	335
Anwender-Forum TerraSAR am 25.2.2005 in Berlin	336
10. Münchner Fortbildungsseminar Geoinformationssysteme am 2.–4.3.2005 in München	338
Verleihung des Förderpreises der TU München für Geoinformatik 2005	340
Fernerkundung urbaner Räume am 14.–16.3.2005 in Tempe, USA	340
GIS-Leitfaden zur Datenqualität	343
ISPRS-Mitglieder	343

Hochschulnachrichten

Universität Zürich – S. BIEGGER	344
Universität Zürich – A. SCHUBERT	347
Technische Universität Wien – C. BRIESE	349

Vorankündigungen	350
Zum Titelbild	354
Neuerscheinungen	356



Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

Weiterbildungs-Zertifikatslehrgang 2005/ 2006 Räumliche Informationssysteme

An der ETH Zürich (Departement Bau, Umwelt und Geomatik) findet im Wintersemester 2005/ 2006 zum wiederholten Mal der Weiterbildungs - Zertifikatslehrgang (ehemals Nachdiplomkurs) über räumliche Informationssysteme (RIS) statt.

Der Lehrgang vermittelt das erforderliche Wissen über die Bearbeitung raumbezogener Daten mit räumlichen Informationssystemen und richtet sich an Fachleute, die sich in ihrem Berufsfeld vorwiegend mit Geodaten befassen. Der Kurs dauert insgesamt fünf Wochen (200 Stunden). Es ist eine gestaffelte Ausbildung von einer Kurswoche (40 Stunden) pro Monat.

Die genauen Termine sind:

7.-11. Nov. 2005, 5.-9. Dez. 2005, 9.-13. Jan. 2006, 6.-10. Feb. 2006, 6.-10. März 2006.

Anmeldeschluss ist der 12. Sep. 2005.

Die Kursgebühr beträgt 2930.- Fr.

Detaillierte Informationen finden sich auf der Webseite: www.photogrammetry.ethz.ch/ndk, Auskünfte erteilt das Lehrgangs-Sekretariat, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, ETH Hönggerberg, 8093 Zürich (Frau S. SEBESTYEN, Tel.: 01-633-3157, sebestyen@geod.baug.ethz.ch; oder Frau K. WOLFF, Tel.: 01-633-3054, wolff@geod.baug.ethz.ch).

5. Oldenburger 3D-Tage

Optische 3D-Messtechnik
Photogrammetrie
Laserscanning

01./02. Februar 2006

Oldenburg (Oldb.)

Veranstalter:

Institut für Angewandte Photogrammetrie und
Geoinformatik (IAPG)

FH Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelmshaven

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

www.fh-oow.de/3dtage

**Vortragsanmeldungen
bis 13.11.2005**

GIS based Forest Biomass Exploitation for Energy Supply in the Northern Black Forest Region

HOLGER HEISIG, CLAUDIA KÜHNLE, LORENA PAREDES & JOACHIM WIESEL, Karlsruhe

Keywords: remote sensing, biomass exploitation, wood energy potential, renewable energy, Geo Information System (GIS)

Zusammenfassung: *Entwicklung einer GIS-Anwendung zur Berechnung des Waldenergie-Holzpotenzials auf Basis von Forsteinrichtungs-Daten.* Ziel der vorliegenden Studie ist die Entwicklung einer GIS-basierten Anwendung zur Modellierung des theoretischen Waldenergie-Holzpotenzials im Nordschwarzwald. Durch den Einsatz von Forsteinrichtungsdaten auf Bestandesflächenniveau wurde dabei eine hohe thematische und räumliche Auflösung erreicht.

Forstliche Waldbewirtschaftung konzentriert sich in erster Linie auf die Produktion von hochwertigem Stammholz. Die dabei anfallenden Reststoffe und minderwertige Hölzer können energetisch genutzt werden.

Im GIS wurden vorhandene Forsteinrichtungsdaten und ATKIS Daten zusammengeführt, bearbeitet und analysiert. Die verfügbare Menge an Waldrestholz und Durchforstungsholz, ihre räumliche Verteilung, die Kosten für Mobilisierung und Transport zum Heiz(kraft)werk werden berechnet und als Potenzialkurven und Karten dargestellt.

Die entwickelte VBA-Anwendung ist flexibel konzipiert und kann beispielsweise bei der Standortwahl von Heiz(kraft)werken eingesetzt werden.

Exemplarisch werden die Ergebnisse für den Forstamtsbezirk Bad Herrenalb dargestellt.

Summary: A GIS based application for calculating wood energy potential was developed taking into account economical and technical aspects. *Where, how much and at which price* forest biomass can be utilized for energy purposes are questions to be answered in this study.

A regionalized approach is achieved by using detailed inventory and forestry planning data of public forests supplied by the *Landesforstverwaltung Baden-Württemberg* (state forest administration).

Quantities of forest thinning wood and residual wood are, in their capacities as disposable energy resources, calculated for forest stands. Their production and mobilizing costs are integral parts of the model and can be altered individually by the user. Results are presented as supply curves and maps – delivering information on the pricing and the location of energy wood.

The application is applied and tested in a study region in the densely wooded northern Black Forest, within the borders of the *Regionalverband Nordschwarzwald* (regional planning authorities).

The developed routine supports local decision makers in planning of locations for new block heat and power plants. Furthermore it provides useful operational resource information for individual forest stands.

In comparison to similar GIS based studies dealing with biomass exploitation, this project aims at very high resolution regarding content as well as spatial and topological information.

1 Introduction

The Federal Government of Germany encourages the usage of renewable energies as

primary energy resource. The goal is an increase of their shares on the total amount of used primary energy from current approximately 3% to 12.5% in the year 2010

and finally to at least 20% in the year 2020. To this end, on 1st of August 2004 the revised Renewable Energy Law (Erneuerbare-Ener-gien-Gesetz/EEG) became effective. This amending law enhances the conditions for biomass energy production (PONATH 2004). In coming years, the production of heating energy derived from biomass will be supported more strongly (DÜRRSCHMIDT et al. 2004).

Due to forestry practice in arboreous regions like the Black Forest in Baden-Württemberg, biomass in form of forest residues and thinning wood is disposable and available for energy production (SIGMUND & FROMMHERZ 2003).

The aim of this study is to develop a repeatable, transferable method for the modeling of forest energy wood potential on a regional level. By contrast similar previous studies are mostly missing a regionalized approach (e. g. HASCHKE 1998, KALTSCHMITT & HARTMANN 2001).

In cooperation with the *Landesforstverwaltung Baden-Württemberg* and the *Regionalverband Nordschwarzwald*, a GIS based application for forest biomass exploitation was designed. This application calculates the theoretical potential of energy wood. The results are presented in form of supply

curves, taking into account economical and technical constraints.

The study region is the expanded district of the *Regionalverband Nordschwarzwald*, including the administrative districts of Calw, Freudenstadt, Enzkreis as well as the city of Pforzheim. A case study applied to the forestry district of Bad Herrenalb is presented (Fig. 1) in this paper.

2 Methodology

2.1 Data description

Forest inventory data

For the regionalized approach detailed forest inventory data (*Forsteinrichtungsdaten*) were employed. Assessed only every ten years, the data used in the case study represent the characterization of the forest district of Bad Herrenalb and its operational objectives set in 2002.

These data describe each forest stand concerning e. g. age, tree species, coverage and growth classes. For each forest stand there is a maximum of three age classes. Each age class can have a maximum number of three different tree species. Each of these tree species is further specified into their relative fraction based on their canopy (Tab. 1).

Forest stands are digitised and were supplied by the *Landesforstverwaltung* as vector data, respectively polygon shapes (ESRI Format), including the quoted attributes.

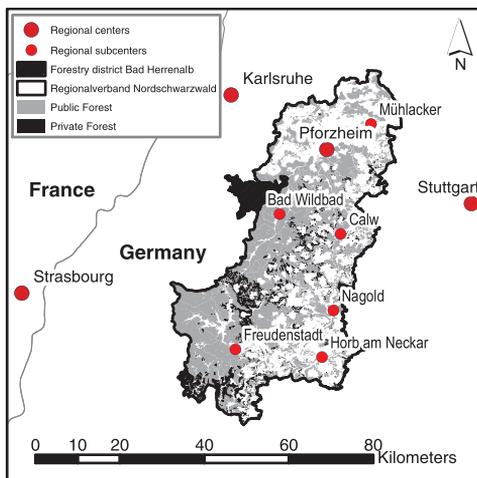


Fig. 1: Area of the *Regionalverband Nordschwarzwald* and the forestry district of Bad Herrenalb.

Tab. 1: Example for the structure of the forest inventory data used in this study describing a forest stand in terms of GIS.

Age (years)	Timber volume (Ster/ha)	Tree species	Relative fraction	Growth class
30	120	Fir	70 %	11
		Spruce	20 %	12
		Beech	10 %	7
60	200	Spruce	50 %	10
		Fir	40 %	11
		Beech	10 %	7
100	450	Fir	70 %	12
		Spruce	30 %	12

The forest planning data consist of the amounts of to-be harvested timber for each forest stand over a ten-year period. They are part of the forest inventory data and are extracted from a database, which is administered by the *Zentrale EDV Sachbearbeitung* (centre of data processing) of the *Landesforstverwaltung*. The files were delivered in MS Access format.

Additional geodata

Other data used are from the ATKIS (Amtliches Topographisches-Kartographisches Informationssystem), more precisely the DEM (Digital Elevation Model) with a 50 m grid and the DLM25 BW (Digital Landscape Model of Baden-Württemberg, scale 1:25,000). Additional raster data (TÜK 200, Topographische Übersichtskarte 1:200,000) were used.

These geodata are available from the *Landesvermessungsamt Baden-Württemberg*, but were supplied for the case study by the *Regionalverband Nordschwarzwald*.

Data handling

Some data preparations were necessary like assigning the forest inventory data to the forest stands based on an altered database key. Combining the data in ArcGIS made further GIS analyses possible. Typical accomplished operations for the case study in ArcGIS include merging, clipping and dissolving, joining tables and adding newly calculated fields.

2.2 Calculation of the theoretical potential

Definitions

German forestry mainly focuses on harvesting high-quality timber wood. Still there are considerable amounts of residuals, which are available for energy production. These “left-overs” are **thinning wood** and **residual wood** (Fig. 2).

Thinning wood evolves from tending timber stands and can be fully used for energy

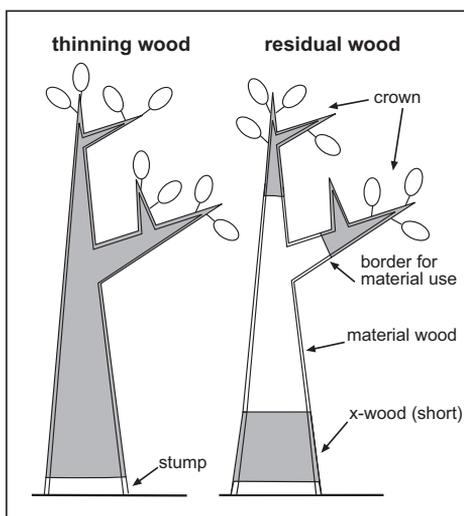


Fig. 2: Thinning and residual wood – available biomass components for energetic use (grey) (DIETER & ENGLERT 2001, modified).

purposes. For differentiation between thinning and material wood the breast height diameter (BHD) is used. The BHD is the diameter of a tree in 1.30 m above mineral ground (KRAMER & AKÇA 1995). Typical BHD border values are between 15 cm and 25 cm. In this study, this border is called the upper BHD limit. In the application selectable values for the upper BHD are: 15 cm, 20 cm, 25 cm and 30 cm (Fig. 3).

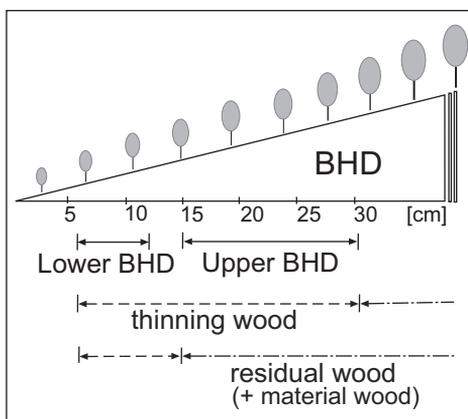


Fig. 3: Dimensions of the BHDs used in the application and the correlation between thinning, residual and material wood.

The other applicable borderline of thinning wood is the lower BHD limit. Selectable values in the application lie between 6 cm and 12 cm. This is the lowest BHD possible where processing is still economical. This depends on the species and the transport distances (Fig. 3) (DIETER & ENGLERT 2001).

As a simplified approach for this study, an average BHD was calculated for the dominating tree species of each age class. This BHD was transferred to other species in the same age class of the corresponding forest stand.

Residual wood consists basically of worthless parts of a cut tree, like already prepared but discolouring wood (x-wood) or the crown with benches of a diameter less than 7 cm (border of material use) (Figs 2 and 3).

Materialwood can be divided into stacked wood, industry wood and log wood. Their shares depend on the BHD and the species, e. g. a tree with a large BHD has more shares of log wood and less of the others. Usually it is not used for energy purposes (Figs 2 and 3).

Foliage should stay in the forest for the sustainability of the ecosystem.

Data calculations

After defining the disposable energy wood, some data calculations were necessary. The whole amount of the available wood for the modeling of the theoretical wood energy potential had to be calculated out of

- (1) *to-be harvested timber* per age classes and per species based on forest planning data
- (2) *twigs and benches* (diameter less than 7 cm) for (1) based on KRAMER & KRÜGER (1981)
- (3) *the different energetic value* of the tree species based on DIETER & ENGLERT (2001).

The development of the application demanded further calculations like

- (4) *an average BHD* for the main tree species of each age class based on forestry harvesting tables (*Ertragstafeln*, LFV 1993)
- (5) *estimations of the usages of wood stock* depending on BHD and species based on

forestry sort tables (*Bestandessortentafeln*, LFV 1993).

To accomplish (1), each forest stand's planning data are assigned to its different age classes and tree species proportionally to their relative fractions.

Planning data only quote logs with a BHD larger than 7 cm (including bark) (2). So twigs and benches are not accounted for. Therefore increments for these additional energy woods had to be calculated based on empirical studies by KRAMER & KRÜGER 1981. Increments depend on species and age class.

According to DIETER & ENGLERT (2001), the different energy value of the four main species (fir, beech, pine, oak) is also considered in the modeling (3).

Because the BHD is not specified in the planning data (4), an average BHD had to be calculated for each forest stand's age class as a function of tree species, age and growth class on the basis of forestry harvesting tables (*Ertragstafeln*, LFV 1993). The growth class is an empirically determined factor that accounts for natural ecological conditions.

For volume calculations of residual wood, it is important to differentiate the usages of the wood stock (e. g. x-wood, stacked wood, industry wood, log wood). The forestry sorting tables (*Bestandessortentafeln*, LFV 1993) split the usages depending on BHD and species. Data of stacked and industry wood were included in the application. Integrating these types of material wood allow operators of the application to chose additional energy wood resources.

According to DIETER & ENGLERT (2001), obtained amounts of energy wood as solid cubic meter were converted into dry weight (t_{atro}) respectively into energy value (MWh).

All calculations were carried out in ArcGIS.

2.3 Integration of mobilization costs

Mobilization costs per energy unit (MWh) depend mainly on characteristics of the forest stands (BHD, tree species, etc.),

- applicability of automated harvesting methods,
- chipping of wood chips,
- expansion of regular road and logging road networks.

Apart from the characteristics of the forest stand, the grade of automation of the harvesting method is crucial for the production costs. Basically, there are three different harvesting methods (BUNK 2002):

- (1) *Manually operated*: felling trees with chain saws, further manual preparations like trimming,
- (2) *Partly automated*: cutting trees with chain saw, felling and transport supported by winches,
- (3) *Highly automated*: wood chip harvester, felling, transport and chipping of wood all inclusive.

(2) and (3) are often used in combination. Due to economical reasons only methods (2) and (3) are used by public forestry. Private forests are often harvested manually.

Energy wood in form of wood chips is favourable especially for fully automated plants. Because of their fluid behaviour, a continuous conveyance can be guaranteed. Their handling is convenient and wood with low diameters can be used, too. Processing of wood chips is assumed to take place on the nearest forest road close to the harvesting location.

Production costs for wood chips from thinning wood are depending on the BHD, and the grade of automation as shown in

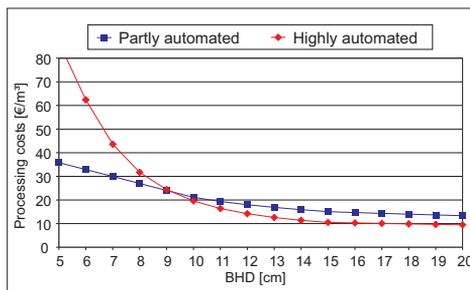


Fig. 4: Wood chip production costs for thinning wood (DIETER & ENGLERT 2001, modified).

Fig. 4. Numbers are based on empirical studies (DIETER & ENGLERT 2001, WITTKOPF et al. 2003).

The missing of production cost data for residual wood required estimations. These estimated values can be altered in the application. Steepness of terrain and BHD are limiting factors for highly automated harvesters.

In the GIS, the DEM was used to calculate the slope and reclassify three slope classes (0%–30%, 30%–60%, > 60%). These were converted to vector data and assigned to the forest stand polygons.

Depending on slope class, BHD and production, different costs are assigned to each forest stand (Tab. 2).

Tab. 2: Wood chip production and corresponding costs (DIETER & ENGLERT 2001, modified).

Slope [%]	Energy wood	BHD [cm]	Harvest/chipping	assigned costs
< 30	Thinning wood		Highly automated	depending on BHD, (Fig. 4)
	Residual wood	< 35	Highly automated	9,44 €/m³ (estimated)
> 35		Partly automated	average BHD = 10 cm (estimated)	
30–60	Thinning wood		Partly automated	depending on BHD, (Fig. 4)
	Residual wood		Partly automated	average BHD = 10 cm (estimated)
> 60	No harvesting possible			

2.3 Transport modeling

In the transport modeling it is assumed that wood chips are getting prepared at the logging road or skid road close to the harvesting area. Depending on the distance the wood chips are transported to the plant either on trucks with containers or on tractors with trailer.

The following costs are assigned to the application:

Tab. 3: Transporting and handling costs for wood chips.

Transport	Loading/Unloading costs	Transport Costs (per km)
Tractor with trailer	0.75 €/MWh	0.25 €/MWh
Container truck	1.25 €/MWh	0.12 €/MWh

According to these numbers, it is cheaper using a tractor instead of a truck for distances less than four kilometres. Transporting wood chips on tractors at shorter distances can be economical (WITTKOPF et al. 2003).

ATKIS data provided detailed information on the logging roads and streets. Skid roads are not yet available as vector data of the *Landesforstverwaltung*. A geometrical network was created in a geodatabase. The closest road network node was allocated to each forest stand.

Two fictitious plant sites in the study area are chosen and shortest path calculations from each forest stand were calculated based on a simplified Dijkstra algorithm (ESRI 2001). Each forest stands polygon received additional attributes: the shortest distances to the plant sites. Depending on these distances, the cheapest transport costs were assigned.

User forms are programmed in ArcGIS with VBA.

3 Results and discussion

Executing the ArcGIS based application for the forest district of Bad Herrenalb, will deliver results in form of supply curves (e. g. Fig. 5). These show the primary energy potential of the biomass resource in function of its market price. The total amount of the calculated theoretical potential (2.2), the assigned production (2.3) and the transportation costs (2.4) cause level and trend of the supply curves.

By choosing provided options, users can model different scenarios like (Fig. 3)

- (1) variation of the lower BHD,
- (2) variation of the upper BHD (Fig. 5),

- (3) accessing additional energy resources: + stacked wood, + industry wood,
- (4) including transport costs,
- (5) considering the tree species, etc.

In (1) and (2) thinning wood, residual wood (Fig. 3) and stacked wood are considered as energy wood. Depending on the BHD, each has different shares on the energy potential. In (2) less residuals for energy purposes are compensated by larger amounts of thinning wood (Fig. 3).

The following supply curves (Fig. 5) show scenario (2) with a constant lower BHD at 8 cm and a varying upper BHD. It does exclude transport costs.

Raising the upper BHD to 25 cm compared to lower BHD's at 15 cm or 20 cm provides a strong increase of the disposable potential. At 14 €/MWh nearly half of the primary energy potential is accounted for. The larger gap between 20 cm and 25 cm is explained by the increases of the volume or mass of a tree compared to its diameter. The supply curves show that competitive usage of the wood – for energy or material purposes – is severe between 20 cm and 25 cm BHD limitations.

Displaying results as maps like in Fig. 6 is another option. Wood chip processing costs for the dominating age class of each forest stand are shown.

Modeling transport costs needed to install two fictitious plant sites (Dobel and Bernbach) (Fig. 6) in the study region. Potential consumers for the produced heat and/or electric power are located close by.

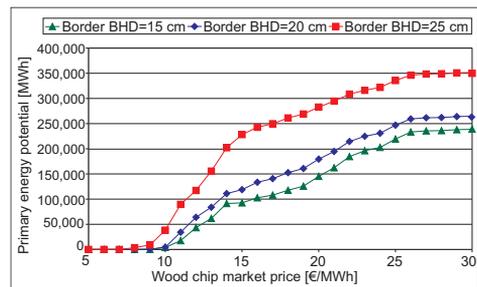


Fig. 5: Supply curves with varying upper BHD, scenario (2).

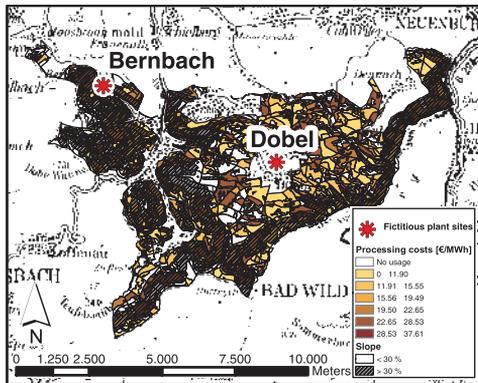


Fig. 6: Wood chip processing costs for the forestry district of Bad Herrenalb.

Only forest stands of the forestry district of Bad Herrenalb were considered in the modelling. Distances from forest respectively their closest network node to each plant are calculated (2.4). To simplify the modelling there is no competition between the plants. Therefore, each can access the complete available energy wood potential. Average distances from forest stands i. e. wood chip production sites to Bernbach plant are 10,311 km and to Dobel plant 6,079 km.

Especially when market prices are low, greater transport distances have a bad impact on the cost-effectiveness of the unfavourable located Bernbach plant (Fig. 7).

Using assumed cost parameters, supply costs for forest wood chips exceed those of other wood resources like wood chips from landscape conservation measures. The lowest calculated price for the production

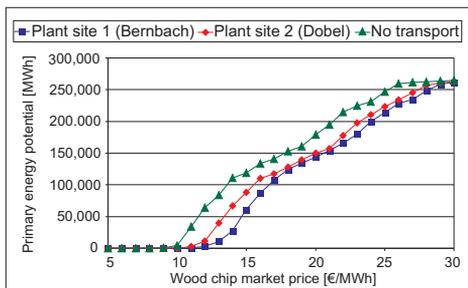


Fig. 7: Supply curves including transport modelling compared to a supply curve only considering production costs.

of 1 MWh out of energy wood in this study is approximately 9 € (excluding transport) in comparison to 7.5 €/MWh all inclusive for energy wood out of landscape conservation measures (BUNK 2002, SIGMUND & FROMMHERZ 2003).

The developed GIS application can assist planning authorities and decision makers in locating future plant sites. It can also be employed in the operational business of wood chip production because of the multi criteria based identification for forest stands.

Because of the complexity of the subject and missing data some simplifying assumptions were necessary: The amount of uncertainty added through these assumptions is difficult to quantify.

4 Conclusions

The particularity of this study is the very detailed, regionalized approach accomplished through the availability of different forestry data, their consolidation and integration into the GIS. The required cross data analysis for the economic production of wood chips, which depends on several spatial criteria, can only be handled with GIS.

The study shows the potential for energy wood in the northern Black Forest region.

Further actions should concentrate on adding data of privately owned forests, integrating other wood energy resources and consumer data.

Acknowledgements

The authors would like to thank all people that contributed to this study. Special thanks is owed to the staff of the *Landesforstverwaltung Baden-Württemberg* and the *Regionalverband Nordschwarzwald*.

References

BUNK, H., 2002: Holz-Energiefibel, Holzenergienutzung, Technik, Planung und Genehmigung. – 98 S., Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg (Hrsg.), Stuttgart.
 DIETER, M. & ENGLERT, H., 2001: Abschätzungen des Rohholzpotenzials für die energetische

- Nutzung in der Bundesrepublik Deutschland. – 40 S., Arbeitsbericht, Institut für Ökonomie, Bundesforschungsanstalt für Forst und Holzwirtschaft, Universität Hamburg. (24.09.2004)
- DÜRRSCHMIDT, W., ZIMMERMANN, G. & LIEBING, A., 2004: Erneuerbare Energien, Innovationen in die Zukunft. – 128 S., Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Hrsg.), Berlin.
- ESRI, 2001: Exploring ArcObjects. – 1305 S., ESRI Press, Redlands, California.
- HASCHKE, P., 1998: Forstliche Energieholzpotenziale in Deutschland und Aspekte ihrer zukünftigen Nutzung. – Holz-Zentralblatt **53**: 805–806.
- KALTSCHMITT, M. & HARTMANN, H., 2001: Energie aus Biomasse, Grundlagen, Techniken und Verfahren. – 770 S., Springer, Berlin.
- KRAMER, H. & AKÇA, A., 1995: Leitfaden zur Waldmesslehre. – 3., erw. Aufl., 298 S., Sauerländer's, Frankfurt/M..
- KRAMER, H. & KRÜGER, H.H., 1981: Vorrat und Nutzungsmöglichkeiten forstlicher Biomasse in der Bundesrepublik Deutschland. – Der Forst- und Holzwirt **36**: 33–37.
- Landesforstverwaltung Baden-Württemberg (LFV), 1993: Hilfstabellen für die Forsteinrichtung. – 188 S., Ministerium für Ernährung und Ländlicher Raum Baden-Württemberg (Hrsg.), Stuttgart.
- PONATH, J., 2004: Novelle zum Erneuerbaren-Energien-Gesetz. – B&B Agrar **04** (3): 1–2.
- SIGMUND, V. & FROMMHERZ, J., 2003: Herleitung des verfügbaren Waldenergieholzpotenzials in Baden-Württemberg auf Basis der Forsteinrichtungsplanung. – Unveröffentlichter Abschlussbericht i. A. d. Forstdirektion Freiburg.
- WITTKOPF, S., HÖMER, U. & FELLER, S., 2003: Bereitstellungsverfahren für Waldhackschnitzel – Leistungen, Kosten, Rahmenbedingungen. – 80 S., Berichte aus der LWF Nr. 21.
- Addresses of the authors:
- Dipl.-Geoecol. HOLGER HEISIG
e-mail: holger.heisig@ipf.uka.de
- Dipl.-Geoecol. CLAUDIA KÜHNLE
e-mail: claudia.kuehnle@ipf.uka.de
- Dr.-Ing. JOACHIM WIESEL
e-mail: joachim.wiesel@ipf.uka.de
- Universität Karlsruhe (TH)
Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung
Englerstr. 7, D-76128 Karlsruhe
Tel.: +49 (0) 721 608-2315
Fax: +49 (0) 721 608-8450
- Dipl.-Math. LORENA PAREDES
e-mail: lorena.paredes@eifer.org
- European Institute for Energy Research (EIFER)
Emmy-Noether-Str. 11, D-76131 Karlsruhe
Tel.: +49 (0) 721 6105-1334
Fax: +49 (0) 721 6105-1332
- Manuskript eingereicht: Oktober 2004
Angenommen: Dezember 2004

GeoSaMT – ein Konzept zur Kartierung und semantischen Modellierung von steilen Hangbereichen

MARC-O. LÖWNER, DIRK DÖRSCHLAG & LUTZ PLÜMER, Bonn

Keywords: Geoinformation, Geographical Information Systems (GIS), Geomorphology, semantic information

Zusammenfassung: Bereiche steiler Hangneigung und senkrechte Wände stellen ein bedeutendes Naturgefahrenpotenzial für die alpinen Gebiete Europas und der gesamten Welt dar. Konzepte zur semantisch motivierten Kartierung und Analyse dieser z. T. überhängenden Bereiche als Mittel politischer Entscheidungsfindung sind mit hauptsächlich rasterbasierten Standard-Geoinformationssystemen jedoch nicht durchzuführen. Mit dem GeoSaMT-Konzept (*Geomorphologisch-Semantisches Modellierungstool*) wird ein Verfahren vorgestellt, mit dem der Anwender mittels terrestrischer Digitalphotos steile und überhängende Wandbereiche sowie dreidimensionale Objekte erfassen, modellieren und in einer objekt-relationalen Datenbank persistent speichern kann. Das Konzept umfasst eine geometrische Modellierung der Geoobjekte auf Basis des internationalen Standards der Geography Markup Language (GML) sowie die semantische Modellierung der Bereiche von Felswänden mit der Unified Modeling Language (UML). Mit dem GeoSaMT-Konzept soll der Anwender in die Lage versetzt werden, problembezogene Fragestellungen an Geoobjekten zu bearbeiten, die durch luftgestützte Fernerkundungsdaten nicht aufgeklärt werden können.

Summary: *GeoSaMT – A Concept for mapping and semantic modeling of steep slopes.* Steep slopes and free faces represent high risk potential for natural hazards in alpine areas of Europe and the entire world. Nevertheless semantically motivated mapping and analysis of these partly overhanging structures in order to support political decision making processes are not covered by current raster-based geographical information systems. With the GeoSaMT-concept (Geomorphologic Semantically Modelling Tool) presented here, the user is enabled to collect data of these areas by terrestrial photographs, model them, and store the three-dimensional objects in an object-relational data base. The concept covers both a geometrical modelling of geo-objects on the basis of the international standard of the Geography Markup Language (GML) and a semantic modelling of free faces on the basis of the Unified Modeling Language (UML). The GeoSaMT-concept enables the user to solve problem-related issues of geo-objects which could never be identified by air-based remote sensing data.

1 Einleitung

Die Struktur der Landoberfläche, das Relief, stellt einen wesentlichen Schlüssel zur Erkenntnis der Transportprozesse von Sediment in alpinen Hochgebirgsregionen dar. Ein besonderes Charakteristikum dieser Gebiete sind Felswände und sehr steile Hangbereiche, also Hänge mit einer Neigung von

über 45°. Sie sind dabei in dreierlei Hinsicht von Bedeutung:

1. Wände stellen in Hochgebirgen beeindruckende und für die Orientierung hilfreiche Landmarken dar (vgl. STECK & MALLOT 2000), die im Freizeit- und Sportbereich eine traditionelle Sonderstellung genießen. In dieser Hinsicht

nimmt auch ihre Bedeutung als Wirtschaftsfaktor beständig zu.

2. Wände und steile Hangbereiche stellen aufgrund ihrer hohen Hangneigung und der damit verbundenen hohen kinetischen Energie ein bedeutendes Naturgefahrenpotenzial für die alpinen Gebiete Europas und der gesamten Welt dar (vgl. GEIPEL 1992). Mit Felswänden verbundene Prozesse, wie Felsstürze oder Steinschlag, bedrohen Siedlungen und Tourismus in erschreckender Regelmäßigkeit und geben Anlass für aufwendige Schutzbauten. Abb.1 zeigt eine Felswand mit Überhang im Rhonetal (Schweiz). Das am Fuße der Wand stehende Gebäude ist durch Felsstürze stark gefährdet. Allein im Turtmantal (Schweiz) sind mehr als 200 Wände mit rezenter Steinschlagaktivität dokumentiert (OTTO & DIKAU 2004).
3. Die Erforschung dieser Prozesse und Formen stellt ein drittes Interessensfeld dar, das in den Fachbereich der Geomorphologie fällt. Grundlegende Erkenntnisse, die das Auftreten von Naturgefahren vorhersagen und geeignete kostenoptimierte Lösungen vorschlagen helfen, müssen vertieft und hinzugewonnen werden. Auch ein optisches Monitoring gefährdeter Bereiche, wie es etwa bei Massenbewegungen in Bereichen geringerer Hangneigung im Tessin (Italien) bereits durchgeführt wird (PASUTO et al. 1993), müssen auf Wände und steile Hangbereiche ausgedehnt werden.

Diesen vielfältigen Interessen steht entgegen, dass Standard-Geoinformationssysteme keine direkte Möglichkeit zur Analyse von Wänden und steilen Hangbereichen bieten. Wände stehen senkrecht zur Horizontalprojektion, gar überhängend, haben Löcher, Anrissnischen und Klüftungen (vgl. AHNERT 1995), die Hinweise auf mögliche Gefährdungen durch Felsstürze oder Steinschlag geben können. 2D- bzw. 2,5D-Konzepte in Geoinformationssystemen, wie sie etwa ERDAS IMAGINE oder ESRI ArcGIS verfolgen, erlauben keine Analyse senkrecht stehender oder überhängender Land-



Abb. 1: Felswand mit Überhang im Rhonetal (Schweiz). Das Haus im Vordergrund ist durch Felsstürze aus der Wand gefährdet.

formen und ihrer Strukturen. Digitale Höhendaten im Rasterformat, wie sie etwa aus Luftbildern gewonnen werden, bieten durch ihre Projektion auf die Horizontalebene keine Informationen zur Aufklärung. Gleichzeitig aber nehmen die Möglichkeiten objekt-relationaler Datenbanken, geometrisch-topologische Datenmodelle im dreidimensionalen Bereich zu implementieren und räumlich zu analysieren, beständig zu.

Eine Untersuchung von Wänden und steilen Hangbereichen erfordert also ein dreidimensionales Datenmodell der Landoberfläche, das über die Repräsentation der Höhe als differenzierbare Funktion des Ortes hinausgeht (vgl. RIGAUX et al. 2002). Vertikale Wände und Überhänge müssen ebenso erfasst und gespeichert werden können, wie Volumen zur Berechnung gefährdender Sturzmassen oder vakanter Überhänge. Für weiterreichende Analysen muss das Datenmodell auch eine Repräsentation von semantischen Beziehungen der einzelnen Objekte in den betrachteten Bereichen ermöglichen, um geomorphologisches Fachwissen

in formalisierter Form abzubilden und anzuwenden.

Dieser Bedarf an Strukturdaten ist unter Berücksichtigung ökonomischer Wirtschaftlichkeit zu decken. Dem Anwender muss ermöglicht werden, selbständig Felddaten zu erheben, auf sie zuzugreifen, sie aufzubereiten und zu analysieren.

Mit dem GeoSaMT-Projekt stellen wir einen Lösungsansatz vor, der die Lücken, die zweidimensionale Standard-Geoinformationssysteme bei der Analyse von vertikalen und überhängenden Wänden zurücklassen, schließen soll. Im Folgenden wird die Architektur des Gesamtkonzeptes skizziert, in den Kapiteln 3 und 4 folgen die Darstellungen der Modellierungen der dreidimensionalen Geometrie und Semantik sowie die Verwendung digitaler Fotos.

2 GeoSaMT – das Gesamtkonzept

Die Problematik der Repräsentation vertikaler und überhängender Flächen bei aktuellen Standard-Geoinformationssystemen ist im Wesentlichen zweigeteilt. Dabei betrifft die eine Seite die 2D bzw. 2,5D-Datenkonzepte, mit denen Informationen über die Oberfläche der Erde repräsentiert werden. Die meist verwendete Form der Speicherung der Geländeoberfläche in GI-Systemen ist das Raster, für das für alle Punkte die Gleichung $z = f(x,y)$ gilt. Regelmäßige Raster sind damit nicht in der Lage, vertikale Strukturen zu speichern, da einer Flächeneinheit, einem Rasterelement, genau ein Höhenwert zugeordnet ist. Unter Einhaltung gewisser geometrischer und topologischer Regeln können Dreiecksvermaschungen allerdings für die Repräsentation von Überhängen herangezogen werden (GRÖGER & PLÜMER 2004). Hierbei handelt es sich aber um ein 2,8D-Konzept, das in Standard-GI-Systemen derzeit nicht implementiert ist. Volumen, wie etwa Gesteinsschichten oder das Volumen einer Schutthalde, können jedoch auch hiermit nicht repräsentiert werden, da es sich in diesem Fall um ein „echtes“ 3D-Problem handelt. Die zweite Seite des Problems umfasst die Eingangsdaten für die Erstellung von digitalen Geländemodellen.

Hierbei werden auf die Horizontalebene projizierte Daten verwendet, die Überhänge und Strukturen in der Wand nicht sichtbar machen können.

Die beste Alternative für den Fachanwender, hoch aufgelöste Daten von Wänden und Überhängen zu erhalten, sind terrestrische Digitalbilder. Dies wurde insbesondere durch GRÜN et al. (2003) gezeigt, ohne jedoch eine umfassende geometrische Modellierung für dreidimensionale Objekte vorzustellen. Bedingung für die Übertragbarkeit der Bildkoordinaten in den Objektraum bleibt in jedem Fall die Beschaffung von Passpunkten.

Mit dem GeoSaMT-Konzept (Geomorphologisch-Semantisches Modellierungstool) stellen wir einen Lösungsansatz vor, der es ermöglicht, Daten mit terrestrischen Digitalbildern einer handelsüblichen Kamera kostengünstig zu erheben und mithilfe eines kommerziellen objekt-relationalen Datenbankmanagementsystems zu verwalten. Dabei steht das Ziel der Visualisierung und Kartierung von semantisch definierten Objekten steiler Hangbereiche im 3D-Raum im Vordergrund. Die kartierten Punkt-, Linien- und Flächenelemente werden mittels eines geometrischen Datenmodells auf der Basis der Geography Markup Language (GML) in der Datenbank abgespeichert (vgl. Cox et al. 2004). Das Konzept beinhaltet eine grundlegende Semantik für natürliche dreidimensionale Geoobjekte der alpinen Felswand.

Abb. 2 zeigt einen Überblick über das GeoSaMT-Konzept. Den technischen Kern der Datenverwaltung bildet das objekt-relationale Datenbankmanagementsystem (DBMS) Oracle Spatial, das auch bei Modellierung von Stadtmodellen zum Einsatz kommt (vgl. GRÖGER et al. 2004). Die Wahl eines kommerziellen DBMS birgt den Vorteil, von technischen Entwicklungen des Produktes direkt zu profitieren, ohne aufwendige Implementierungen selbst durchzuführen. Schon jetzt verfügt Oracle Spatial 10g über eine Anzahl räumlicher Abfragealgorithmen (Oracle Cooperation 2002). Neben den digitalen Fotos wird hier nach der interaktiven Datenaufbereitung nur die 3×3

Matrix der relativen und die 3×4 Matrix der absoluten Orientierung der Bilder gespeichert. Somit können die Bilder platzsparend nach Bedarf zusammengefügt werden (LÖWNER et al. 2004) und die abgebildeten Geoobjekte durch Übertragung in ein übergeordnetes Koordinatensystem (DÖRSCHLAG et al. 2003) und Visualisierung innerhalb einer Stereokomponente dreidimensional kartiert werden.

Neben dem geometrischen Datenmodell zur Speicherung der photogrammetrisch gemessenen Objektkoordinaten ist im DBMS auch ein semantisches Datenmodell implementiert, das dem Anwender erlaubt, fachlich differenzierte Geoobjekte zu erfassen, abzuspeichern und zu analysieren. Die Kartierung, ebenso wie die semantische Klassifizierung der kartierten Geoobjekte, erfolgt interaktiv durch den Benutzer. Dabei kann er auf die im DBMS abgelegte formalisierte Semantik zurückgreifen. Unterstützung der

Erkennung von Geoobjekten kann durch die Visualisierung von Objektparametern, wie Neigung oder Wölbung gegeben werden (LÖWNER et al. 2003). Die Güte dieser Visualisierung ist dabei von der semantischen Modellierung abhängig.

3 Datenbankschemata zur semantischen Analyse von Wänden

Bei vertikalen Wänden oder überhängenden Wandteilen handelt es sich um Flächenobjekte im dreidimensionalen Raum, deren Oberflächenstruktur nicht mit horizontalprojizierten Daten zu erfassen ist. Die Kartierung und semantische Erfassung geomorphologischer Objekte in und an Wänden und steilen Hangereichen verlangt eine persistente Speicherung dreidimensionaler, also voluminöser, geometrischer Objekte.

Die einer Kartierung vorweggehende semantische Modellierung ist stark vom Ver-

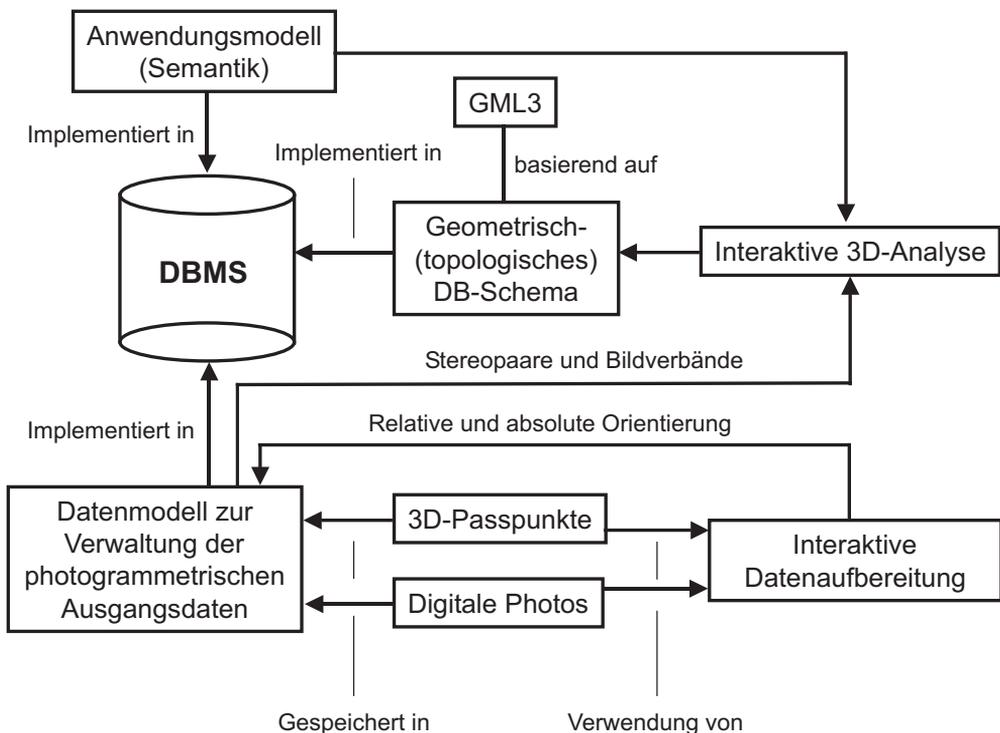


Abb. 2: Überblick über das GeoSaMT-Konzept. Als Datenbank-Managementsystem wird die kommerzielle objekt-relationale Datenbank Oracle Spatial 10g eingesetzt.

ständnis der Phänomene der Welt abhängig und kann als eine Formalisierung von Fachwissen gesehen werden. Da dieses Fachwissen in Abhängigkeit der Fragestellung formuliert wird, folgt die semantische Modellierung immer einem Ziel. Hier ist das Ziel der Modellierung die Möglichkeit, die in der geomorphologischen Fachliteratur diskutierten Teilobjekte von Wänden und steilen Hangbereichen zu kartieren, zu vermessen und damit die Voraussetzung für eine Prozessmodellierung zu schaffen. Dies umfasst die Struktur der Wand ebenso, wie ihre Funktion als Quelle von Sediment.

3.1 *Das Datenmodell zur Repräsentation dreidimensionaler räumlicher Objekte*

Zur Lösung der Repräsentationsprobleme von vertikalen oder überhängenden Wänden wird in GeoSaMT ein dreidimensionales Datenmodell zur Erfassung der Geometrie von Geoobjekten verwendet, das sowohl Flächen als auch Volumina im dreidimensionalen Raum abbilden kann. Es handelt sich hierbei um ein Schema der Geography Markup Language (GML), die auf der Extensible Markup Language XML basiert und eine Modellierung des ISO-Standards 19107 „Spatial Schema“ (HERRING 2001) darstellt (COX et al. 2004). Dabei beruht die Geometrie eines Objektes auf einer Spezialisierung des `AbstractGeometryTypes` in die geometrischen Klassen `Point`, `_Curve`, `_Surface` und `_Solid` (Unterstriche implizieren abstrakte Klassen). Die Entscheidung über die Art des Geometrietyps wird durch die ISO 19109 festgelegt (ISO/DIS 19109) und durch die Assoziation mit der Klasse `GeometryPropertyType` spezifiziert. Die sichtbare Oberfläche eines Geoobjektes in einer Wand kann dann durch eine Instanz der Klasse `PolygonPatchType` begrenzt werden. Diesem `PolygonPatch` ist wiederum eine Oberfläche in Form von Dreiecken, also einem TIN zugeordnet.

Der Vorteil einer Modellierung in GML als Realisierung eines ISO Standards liegt in der Interoperabilität der vorgehaltenen

Geodaten mit anderen Informationssystemen (vgl. GRÖGER & KOLBE 2003). Diese wird nach BISHR (1998) durch die Schema-Heterogenität, also die strukturellen Unterschiede bei der Modellierung desselben Objektes, der syntaktischen und der inhaltlich dominierten semantischen Heterogenität zwischen Datenmodellen behindert. Während letzteres aufgrund der fachbezogenen Modellierung nicht eindeutig zu gestalten ist, fallen die ersten beiden Arten der Heterogenität durch die Verwendung international akzeptierter Standards weg.

Das umrissene Modell entspricht aufgrund fehlender Topologie zunächst einem Spaghettimodell. Zwar kann in GML die Topologie räumlicher Objekte modelliert werden; hier ist allerdings aus zwei Gründen darauf verzichtet worden. Zum Einen ist die Beziehung der natürlichen Objekte alpiner Regionen primär durch eine prozessuale Aktivität und nicht durch eine Topologie gegeben. Eine Wand steht mit der darunter liegenden Schutthalde also über den Prozess des Fallens von Sediment in Beziehung. Diese Beziehung besteht auch dann, wenn zwischen dem Objekt *Wand* und dem Objekt *Schutthalde* andere Objekte liegen, etwa Rinnen oder Leisten. Gleiches gilt etwa für Sediment, das durch eine Flut erodiert und z.T. hunderte Kilometer von diesem Ort durch einen Fluss wieder akkumuliert werden kann. Die Beziehung der beiden Objekte zueinander ist dann, obwohl topologisch disjunkt, durch den fluvialen Transport gegeben. Zum Anderen liegt die Entscheidung in der konzeptionellen Einfachheit begründet, die zur Implementierung in ein Datenbanksystem sinnvoll ist.

3.2 *Beispiel einer semantischen Modellierung für Felswände*

Eine thematische Kartierung und Abspeicherung von Geoobjekten verlangt ein formalisiertes Konzept aus Sicht der Fachwissenschaft. Im Fall der Kartierung und Modellierung von Objekten der Wand und steiler Hangbereiche wird auf Fachwissen der Geomorphologie zurückgegriffen. Der hier verwendete Formalismus zur Darstellung ist

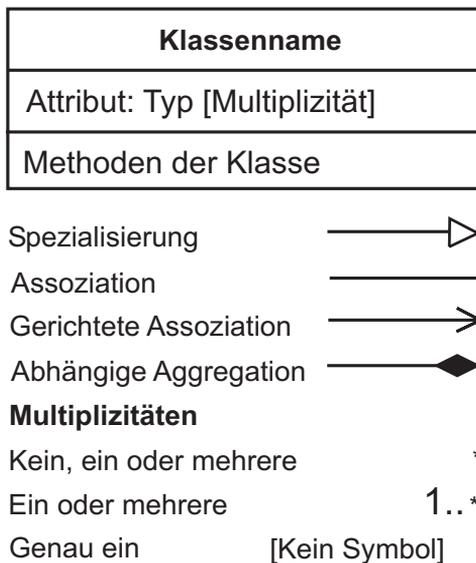


Abb. 3: Ausgesuchte Notation der graphischen Modellierungssprache UML.

die Unified Modelling Language (UML). Abb. 3 gibt eine kurze Übersicht über die Notation von UML.

Abb. 4 zeigt die Modellierung einer Felswand im Hochgebirge. Die Oberklasse der Modellierung bildet das *Geoobjekt*, dessen geometrische Form durch die Assoziation mit einem Objekt *_GeometryPropertyType* (vgl. Kap. 3.1) gegeben ist. Durch eine externe Referenz der Klasse *ExterneReferenz* ist die Verbindung mit anderen Informationssystemen gegeben.

Der Hang als Spezialisierung des *Geoobjektes* kann sich unter anderem auch aus dem *Geoobjekt* *Wand* zusammensetzen, was die Multiplizität * (kein oder mehrere) aussagt. Diese Aggregation ist unabhängig, Wände können also auch ohne ein Objekt *Hang* existieren. Nach DALRYMPLE sind geneigte Flächen mit einer Hangneigung von über 65° als Wände anzusprechen; es handelt sich also um ein rein geometrisches Auswahlkriterium. Dies ist unabhängig vom Material der geeigneten Fläche anzuwenden. So kann z. B. auch Löß, ein äolisches Sediment, das hauptsächlich aus Schluff mit einer Korngröße 0,002–0,063 mm besteht, nahezu vertikale Wände aufbauen. Es muss also eine Spezialisierung der Klasse *Wand*

durch die Klasse *Felswand* erfolgen, um die im alpinen Hochgebirge auftretende Phänomen zu modellieren. Felswände sind durch eine Oberfläche aus anstehendem, unverwittertem Gestein gekennzeichnet. Diese Oberfläche kann durch geomorphologisch aufschlussreiche Strukturen, wie etwa Lochverwitterung (AHNERT 1995), gekennzeichnet sein. Die Möglichkeit der Attributierung durch den Anwender wird in einer Stereotypklasse *Codelist* modelliert, eine Auflistung zugelassener Attributwerte für die Klasse *Felswand*. Die *Felswand* kann mit einem Überhang assoziiert werden, der wiederum eine Spezialisierung der *Wand* darstellt. Als obligatorisches Attribut hat der Überhang ein Neigungswinkel größer 90°.

An *Felswänden* können *Leisten* vorkommen, treppenstufenartige Bänder, die durch Abbrüche einer über ihnen liegenden Scholle entstehen können. Diese *Leisten* sind von der Existenz der *Felswand* abhängig, ohne die sie nicht auftreten können, was die Notation der abhängigen Aggregation deutlich macht. Anders verhält es sich mit Klüftungen, die auch in horizontal gelagerten Festgesteinsformationen auftreten können. Sie bestehen ihrerseits aus zwei Klüftflächen, deren Entfernung voneinander z. B. eine Aussage über die Stabilität der *Wand* zulässt. *Leisten* erfüllen die geomorphologisch wichtige Funktion, Sedimentspeicher zu sein, sie können also Verwitterungsmaterial der *Wand* oder darüber gelegener Formen aufnehmen und zurückhalten. *Sedimentspeicher*, wiederum *Geoobjekte*, können in allen Skalen vorkommen, in den Bereichen steiler Hangneigung auch als *Schutthalde*, den *Wänden* untergelagerten *Halden* aus Verwitterungsmaterial der *Wand*. Damit ist klar, das *Schutthalden* unterhalb von *Wänden* liegen. Von einer weiterführenden Modellierung von Formenvergesellschaftungen, in denen natürlich auch unterhalb von *Schutthalden* oder -kegeln wiederum *Felswände* liegen können, sei hier abgesehen.

Das hier vorgestellte semantische Modell erfüllt die Anforderungen an eine semantische Kartierung von *Wänden* und steilen Hangbereichen und schafft die Basis für eine

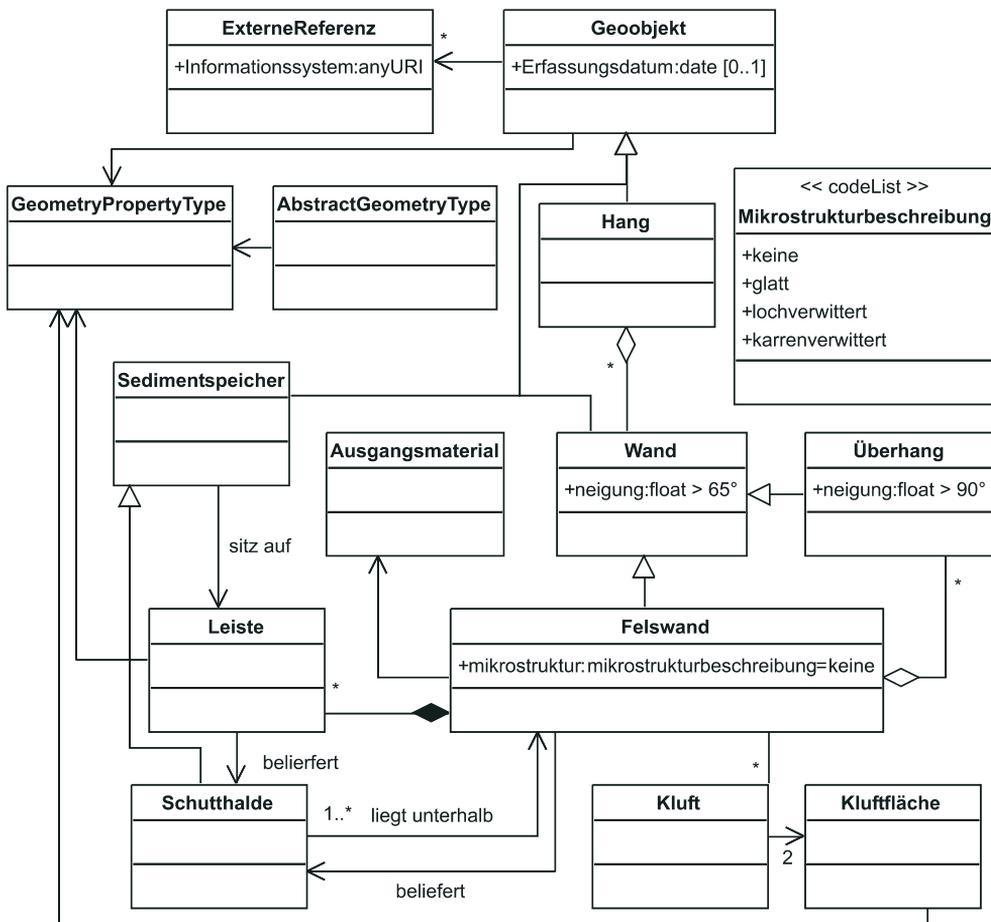


Abb. 4: Auszug aus der semantischen Modellierung von natürlichen Geoobjekten der Wand.

Modellierung von Prozessen und Prozessketten. Felswände können kartiert, ihnen aufsitzende Sedimentspeicher ihnen selbst zugeordnet, ihre Geometrie abgespeichert werden. So lässt sich etwa das Gesamtpotenzial der Sedimentspeicherung in der Wand als Ausdruck der Gefährdung für unterhalb liegende Ortschaften erfassen. Auch können Gefährdungen durch die Kartierung von Klüftungen abgeschätzt werden. Schutthalden können separat kartiert oder aber Felswänden durch Assoziation zugeordnet werden. Über die in Kap. 3.1 verwendete Modellierung der Geometrie sind die kartierten Objekte mit anderen, externen Datenbanken austauschbar.

4 Kartierung von Wänden und steilen Hangbereichen mit GeoSaMT

Ziel des GeoSaMT-Konzeptes ist die Modellierung und Kartierung von steilen Hangbereichen, um die Voraussetzungen für eine später aufsetzende Modellierung der geomorphologischen Prozesse in diesen Bereichen zu schaffen. Wegen des Fokus auf steile Hangbereiche und teilweise überhängende Wände sind die Voraussetzungen für die Integration von terrestrischen Fotos in die Kartierung zu schaffen, da die sonst üblichen Luftbilder aufgrund technischer Grenzen nicht die benötigte Auflösung für diese

Bereiche des Reliefs bieten können. Dies gilt, obwohl in Einzelfällen schräg aufgenommene Luftbilder zur Analyse verwendet werden können (BUCHROITNER et al. 2000), keinesfalls aber bei stark überhängenden Formen

4.1 *Datenakquise mittels terrestrischer Photogrammetrie*

Eine Alternative zu Luftbildern stellt die bodengestützte, terrestrische Photogrammetrie mit handelsüblichen CCD-Kameras dar. Die gestiegene Auflösung der Aufnahmesensoren bis über die 6 Millionengrenze hinaus hat Autoren zum Nachweis der Tauglichkeit handelsüblicher Digitalkameras für photogrammetrische Verfahren veranlasst (KUNII & CHIKATSU 2001, GUARNIERI et al. 2004). Sie können im Rahmen tolerierbarer Fehler vom Anwender selbst kalibriert werden (MATUSOKA et al. 2002) und sind auch über Monate bezüglich der inneren Orientierung stabil (LAEBE & FÖRSTNER 2004).

Wände und steile Hangbereiche im Hochgebirge können also mit handelsüblichen Digitalkameras von verschiedenen Standorten aus fotografiert, die Fotos relativ zueinander orientiert und durch die Hinzunahme von 3D-Passpunkten stereophotogrammetrisch ausgewertet werden.

Ein allgemeines Problem bei der photogrammetrischen Erfassung von stark strukturierten Wänden im Hochgebirge ist der Konflikt zwischen hinreichender Basislänge und Sichtbarkeit. Insbesondere bei den stark strukturierten, steilen Hangbereichen nimmt die Sichtbarkeit von Objekten und damit die Anzahl homologer Punkte bei zunehmender Entfernung der Fotostandorte ab.

4.2 *Datenakquise und Interaktion mit der Datenbank*

Für das angestrebte Ziel einer Kartierung von Geoobjekten sind, wie in den vorherigen Kapiteln bereits diskutiert, verschiedenste Daten in ein geeignetes DBMS zu überführen, um einen effizienten Zugriff und einen hinreichenden Überblick zu gewährleis-

ten. Zu diesen Daten zählen im Rahmen dieses Konzeptes sowohl die terrestrischen Fotos der steilen Hangbereiche, als auch die für die äußere Orientierung notwendigen Passpunkte, die am Objekt vermessen werden müssen, und eventuell vorhandene TINs.

Nach der Orientierung der Fotos durch einer Bündelausgleichung können die aus den Passpunkten abgeleiteten TIN-Informationen mit den entsprechenden passenden, überlagerten Stereobildern in einer 3D-Viewerkomponente dargestellt werden. Zu diesem Zweck wird im Rahmen des GeoSaMT-Projekts eine Teilkomponente entwickelt, die dieses leistet und für eine Integration der gewonnenen Information in die Datenbank sorgt.

Die Datenbank stellt als zentraler Knotenpunkt die Verwaltungskomponente für sämtliche Daten im Projekt dar. Sie bildet somit die Datenbasis für die 3D-Viewerkomponente, das eigentliche Kartierungswerkzeug, und sollte daher auch in der Lage sein, die bei der Kartierung neu generierten Objekte und die zu ihnen gehörenden semantischen Informationen aufzunehmen.

Daneben soll die 3D-Viewerkomponente eine Erleichterung bei der Identifizierung der modellierten geomorphologischen Objekte mit sich bringen. Zu diesem Zweck wird analog zur Parametervisualisierung, wie sie in LÖWNER et al. (2003) vorgestellt wird, eine entsprechende visuelle Unterstützung für den Nutzer realisiert, welche einer Einfärbung des Modells nach Wahrscheinlichkeiten des Auftretens eines geomorphologischen Objekts entspricht. Zu diesem Zweck werden sowohl die importierten TIN-Daten als auch die durch die Kartierungsarbeit gewonnenen verbesserten TIN-Daten herangezogen.

Da das hier in UML dargestellte semantische Modell der Wand analog zu GML in XML-Schemata übertragen werden kann, sind die so gewonnenen und XML-konform abgelegten Objektdaten besonders einfach auf Schemakonformität und somit auf strukturelle Integrität überprüfbar. Im Hinblick auf die spätere Speicherung in der Datenbank ist es daher sinnvoll, auf die XML-

Fähigkeiten des gewählten Datenbanksystems zu achten. Diese Fähigkeiten bringt Oracle10g im benötigten Umfang mit. Darüber hinaus bietet dieses Vorgehen den Vorteil, in Zukunft die Daten über Web Services einer breiten Öffentlichkeit plattformübergreifend zur Verfügung zu stellen.

5 Fazit

Mit dem GeoSaMT-Konzept haben wir eine semantische und geometrische Modellierung für eine Kartierung steiler Hangbereiche sowie vertikaler und überhängender Wände des Hochgebirges vorgestellt. Das Konzept schließt die Lücke, die horizontalprojizierte Rasterdatenkonzepte bei der Analyse dieser speziellen Landschaftsformen offen lassen. Mit der Entwicklung einer geomorphologisch motivierten Semantik von Wänden und steilen Hangbereichen ist der Grundstein gelegt, eine problembezogene Kartierung, anzuwenden. Dies ist insbesondere im Bereich der Naturgefahrenanalyse für die Entscheidungsträger von nicht zu unterschätzender Wichtigkeit.

Des Weiteren ist über die hier auszugswweise dargestellte semantische Modellierung des Geobjektes Felswand ein wesentlicher Beitrag zur Formalisierung des Georeliefs (vgl. RASEMANN 2004) geleistet worden. Für eine geoinformationsgestützte Analyse der Interaktion von Sedimentquelle und -speicher bedarf es neben der semantischen Modellierung auch einer Möglichkeit, die Geometrien der definierten Objekte interoperabel abzuspeichern. Diese ist im GeoSaMT-Projekt durch die Verwendung des internationalen Standards, den GML darstellt, verwirklicht. Auf der technischen Seite wird dies durch die Verwendung einer kommerziellen raumbezogenen objekt-relationalen Datenbank sichergestellt.

Erste Ergebnisse zeigen, dass sich im Turtmanntal (Schweiz) mit einer handelsüblichen Digitalkamera Canon EOS 10D angefertigte und mittels tachymetrischer und DGPS gestützter Passpunkte orientierte Fotos im Sinne der vorgestellten, formalisierten Semantik analysieren lassen. Im Folgenden wird angestrebt, die Modellierung

der Semantik weiter voranzutreiben und auf Geobjekte außerhalb der beschriebenen Wandbereiche auszudehnen. Hierbei ist darauf zu achten, an der aktuellen Diskussion der Fachkreise der Geomorphologie zu partizipieren. Auch wird es eine weitere Herausforderung sein, die Möglichkeiten der Geography Markup Language weiter zu inkorporieren. Dies wird insbesondere in der Modellierung der Topologie erfolgen.

Literatur

- AHNERT, F., 1995: Einführung in die Geomorphologie. – 440 S., Ulmer, Stuttgart.
- BOOCH, G., RUMBAUGH, J. & JACOBSON, I., 1999: The Unified Modeling Language Guide. – 482 S., Addison-Wesley.
- BUCHROITHNER, M.F., SCHENKEL, R. & WINKLER, M., 2000: Towards the virtual Eiger North Face. – In: BUCHROITHNER, M.F. (Hrsg.): High Mountain Cartography 2000. – Proc. second symposium of the commission on mountain cartography. Dresden, pp. 107–20.
- BISHR, Y., 1998: Overcoming the semantic and other barriers to GIS interoperability. – Internat. Journ. Geogr. Information Science **12**(4): 229–314.
- COX, S., DAISEY, P., LAKE, R., PORTELE, C. & WHITESIDE, A., 2004: Geography Markup Language (GML3.1). http://glass.ipe.tsukuba.ac.jp/~s011304/cgi/nph-proxy.cgi/010100A/httpportal.open.gis.org/files/?artifact_id=4700.
- DALRYMPLE, J.B., BLONG, R.J. & CONACHER, A.J., : An hypothetical nine unit landsurface model. – Z. Geomorph. N.F. **12**: 60–76.
- DÖRSCHLAG, D., BACKES, M. & PLÜMER, L., 2003: Creating Digital Ground Truth Maps of Agricultural Fields – Towards a Sustainable Global Future – Abstracts of the Second Biennial International Conference on Agricultural Science and Technology ICAST, Houston, Texas. 20.
- GEIPEL, R., 1992: Naturrisiken. Katastrophenbewältigung im sozialen Umfeld. – 292 S., Wissenschaftl. Buchgesellschaft, Darmstadt.
- GRÖGER, G. & KOLBE, T.H., 2003: Interoperabilität in einer 3D-Geodateninfrastruktur. – In: BERNHARD, L., SLIWINSKI, A. & SENKLÖER, K. (Hrsg.): Geodaten- und Geodienste-Infrastruktur – von der Forschung zur praktischen Anwendung. – IfGI Prints **18**.
- GRÖGER, G. & PLÜMER, L., 2004: Exploiting 2D concepts to achieve consistency in 3D GIS applications. – In: HOEL, E. & RIGAUX, P. (Hrsg.): Proc. of the 11th International Symposium on

- Advances in Geographic Information Systems (ACM-GIS'03), New Orleans, Louisiana. pp. 78–85.
- GRÖGER, G., REUTER, M. & PLÜMER, L., : Representation of a 3-D City Model in Spatial Object-relational Databases. – Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 34. Part B4 of Proc. of the XXth ISPRS Congress, Istanbul 2004.
- GRÜN, A., REMONDINO, F. & ZHANG, L., 2003: Image-based reconstruction of the Great Buddha of Bamiyan, Afghanistan. – In: EL-HAKIM, S.F., GRUEN, A. & WALTON, J.S. (Hrsg.): Proc. SPIE Conf. "Videometrics VII", Santa Clara, CA, USA, 21–22 Januar, Vol. 5013: 129–136.
- GUARNIERI, A., VETTORE, S., EL-HAKIM, S. & GONZO, L., 2004: Digital photogrammetry and laser scanning in cultural heritage survey. – ISPRS Congress Istanbul 2004, Vol. XXXV, Part B:154–158.
- HERRING, J.: The OpenGIS abstract specification, Topic 1: Feature Geometry (ISO 19107 Spatial Schema), Version 5. OGC Document 01–101. 168 S.
- ISO/DIS 19109 (2002): Geographic information – Rules for application schema. ISO Technical Committee 211, Draft International Standard. <http://www.isotc211.org>.
- KUNII Y. & CHIKATSU, H., 2001: On the application of 3 million consumer pixel camera to digital photogrammetry. – Videometrics and optical methods for 3D shape measurement, Proceeding of SPIE, Volume 4309: 278–287.
- LÄBE, T. & FÖRSTNER, W., 2004: Geometric Stability of Low-Cost Digital Consumer Cameras. – ISPRS Congress Istanbul 2004, International Archives of ISPRS, Volume XXXV, Part B: 528–535.
- LÖWNER, M.-O., DÖRSCHLAG, D. & PLÜMER, L., 2003: Interaktive Geoobjekterkennung in digitalen Höhenmodellen mittels Parametervisualisierung. – Kartographische Schriften 7: 59–66.
- LÖWNER, M.-O., DÖRSCHLAG, D. & PLÜMER, L., 2004: Improving free face mapping by the use of high resolution terrestrial photos merged on demand. – Geophysical Research Abstracts 6, 06141, 2004.
- MATSUOKA, R., FUKUE, K., CHO, K., SHIMODA, H., MATSUMAE, Y., HONGO, K. & FUJIWARA, S., 2002: A study on calibration of digital camera. – Proceedings of the Commission III Symposium, Part B: 176–180.
- Oracle Cooperation, 2002: Oracle Spatial. – User's guide and Reference, Release 9.2.
- OTTO, J.-C. & DIKAU, R., 2004: Geomorphologic system analysis of a high mountain valley in the Swiss Alps. – Z. Geomorph. N.F. 48(3): 323–341.
- PASUTO, A., SILVANO, S. & BOZZO, G.P., 1993: The Tessina landslide (Belluno, Italy). – In: PANIZZA, M., SOLDATI, M. & BARANI, D. (Hrsg.): Proc. First European Intensive Course on Applied Geomorphology. – Pubblicazioni Istituto di Geologia, Università degli Studi di Modena, Italy, pp. 63–69.
- RASSEMANN, S., 2004: Geomorphologische Struktur eines mesoskaligen alpinen Geosystems. – Bonner Geographische Abhandlungen 111, 210 S.
- RIGAUX, P., SCHOLL, M. & VOISARD, A., 2002: Spatial Databases with application to GIS. – 410 p., Academic Press, London.
- STECK, S. & MALLOT, H.A., 2000: The Role of Global and Local Landmarks in Virtual Environment Navigation. – Presence 9(1): 69–83.

Anschriften der Autoren:

Dipl.-Geogr. MARC-O. LÖWNER

Tel.: +49 (0)228 73 6336, Fax: + 49 (0)228 73 1753, e-mail: loewner@ikg.uni-bonn.de

Dipl.-Ing. DIRK DÖRSCHLAG

Tel.: +49 (0)228 73 3035, Fax: + 49 (0)228 73 1753, e-mail: doerschlag@ikg.uni-bonn.de

Prof. Dr. rer. nat. LUTZ PLÜMER

Tel.: +49 (0)228 73 1750, Fax: + 49 (0)228 73 1753, e-mail: pluemer@ikg.uni-bonn.de

Universität Bonn, Institut für Kartographie und Geoinformation, Meckenheimer Allee 172, D-53115 Bonn,

Manuskript eingereicht: Januar 2005

Angenommen: März 2005

XML basierte Datenformulierung zur Web-konformen Dokumentation photogrammetrischer Bauaufnahmen

GÜNTER POMASKA, Bielefeld & NIKOLAI DEMENTIEV, Wologda/Russland

Keywords: photogrammetry, archiving, CAD, Cultural Heritage, close range, Internet/Web

Einleitung: Mitte der achtziger Jahre wurden photogrammetrische Messsysteme in den Markt eingeführt, die nach dem Verfahren der Mehrbild-photogrammetrie auf PC-Systemen lauffähig waren. Vergrößerte Papierabzüge der Messbilder waren auf einem Digitizer punktweise auszumessen. Nachteilig wirkte sich der Arbeitsaufwand bei der Orientierung der Messbilder auf dem Digitizer aus. Unvermeidbar der hohe Kostenfaktor, der durch den notwendigen Einsatz einer Réseaukamera entstand.

Durch fortschreitende Technologie der digitalen Bildverarbeitung entwickelten sich die Systeme weiter. Mit Notebook und kalibrierter digitaler Spiegelreflexkamera sind jetzt wirtschaftlich einsetzbare Photogrammetrie-Systeme für den Arbeitsplatz verfügbar, die sich auch nahtlos in CAD-Arbeitsumgebungen einfügen.

Photogrammetrie liefert die Grundlage zur Datenaufbereitung aus einem „dreidimensionalen Bild“, zu vergleichen der beim Laserscanning erzeugten Punktwolke. Abzuwägen ist, ob die vollständige Auswertung der Dienstleistung eines Vermessungsfachmanns zu übertragen ist, oder ob die Weiterverarbeitung in einem auswertbaren Rechnermodell bei Bedarf erfolgen kann.

Der vorliegende Beitrag betrachtet die Möglichkeiten einer Web-konformen Formulierung aller bei photogrammetrischen Bauaufnahmen anfallenden Daten. Dabei liegt das Augenmerk auf der allgemein zugänglichen Ergebnisdokumentation und auf dem Zugriff auf die Ursprungsdaten zur Bestimmung weiterer Größen von verteilten Arbeitsplätzen, die mit Internetzugang ausgestattet sind.

Introduction: *XML based data description for Web compliant photogrammetric documentation of buildings.* Photogrammetric desktop systems, operating with the multi image principle, were introduced in the mid eighties. Enlarged prints of the images had to be surveyed on digitizers point by point. Two major disadvantages occurred. Orientation of the photos on the digitizer was time consuming. The request for a réseau-camera increased the investment.

Concurrently with the ongoing technology of digital image processing, the systems became more and more usable. Notebook computer and calibrated digital SLR camera are the hardware components of a cost-effective photogrammetric system, fitting very well in a CAD environment today.

Photogrammetry provides a 3D-image, comparable with a point cloud from laser scanning. From the raw data, 3D measurements can be taken upon request.

This contribution reviews the possibilities of a Web compliant description of a complete photogrammetric data set. Taking into consideration the access and the further evaluation with distributed workstations connected to the Internet.

1 Die Zitadelle in Wesel

Unter Friedrich Wilhelm I., König in Preussen – Regierungszeit 1713–1740 –, erreichte die Festung Wesel im 18. Jahrhundert ihre größte Ausbaustufe. Aus dieser Zeit datieren in der Zitadelle: Das Haupttor mit Toranlage (bis 1718) sowie die Kaserne VI (1727/28) und in der Stadt: Die Lutherkirche (1729) und das Berliner Tor (1718–1722), sowie aus der Zeit der ersten beiden preußischen Könige Reste der Niederflanke der Bastion Friedrich-Wilhelm (zw. 1702–1727). Das Haupttorgebäude besitzt eine auffällige Verwandtschaft mit dem um 1698 entstandenen Entwurf Jean de Bodts eines Invalidenhauses für König Wilhelm IV. von England. Die Risalite der Außenfronten entsprechen hier in Proportionen und Gliederungen in etwa den Flügeln des Haupttorgebäudes, die sich zum Zitadellenhof öffnen. Dies gilt auch für die Mansardendächer, die am Haupttorgebäude der Zitadelle nach dem 2. Weltkrieg nicht mehr aufgesetzt wurden.

Da Jean de Bodt seit 1703 Arbeiten in Wesel verrichtete, dürfte ein deutlich früheres Entstehungsdatum als 1718 durchaus in Be-

tracht kommen. Das Haupttorgebäude diente als Wachgebäude, Gefängnis, zeitweise auch als Kommandantur. Die spätere Kaserne VII wurde als Kornmagazin erbaut, 1763 zur Kaserne umgestaltet. Das Haupttorgebäude der Zitadelle ist entweder 1718 zeitgleich mit dem Außentor entstanden oder bereits älter.

Der dem Zitadellenhof zugewandte Mittelrisalit in Sandstein besitzt mit seinen gekröpften Pilastern und dem gleichfalls gekröpften Giebel starke Bezüge zu Manierismus und Frühbarock. Viel später als 1700 dürfte dieser Bau nicht errichtet worden sein. Die Urheberschaft von Jean de Bodt an diesem Bauwerk ist sehr wahrscheinlich.

2 Aufnahmesysteme, Kalibrierung und Objektaufnahme

Die photogrammetrische Aufnahme erfolgte nach dem Verfahren der Mehrbildphotogrammetrie, gestützt von einigen terrestrisch bestimmten Kontrollpunkten. Zum Vergleich wurden die Aufnahmesysteme Rolleiflex metric 6008, Mittelformat, Farbnegativfilm, 50 mm Brennweite und eine di-

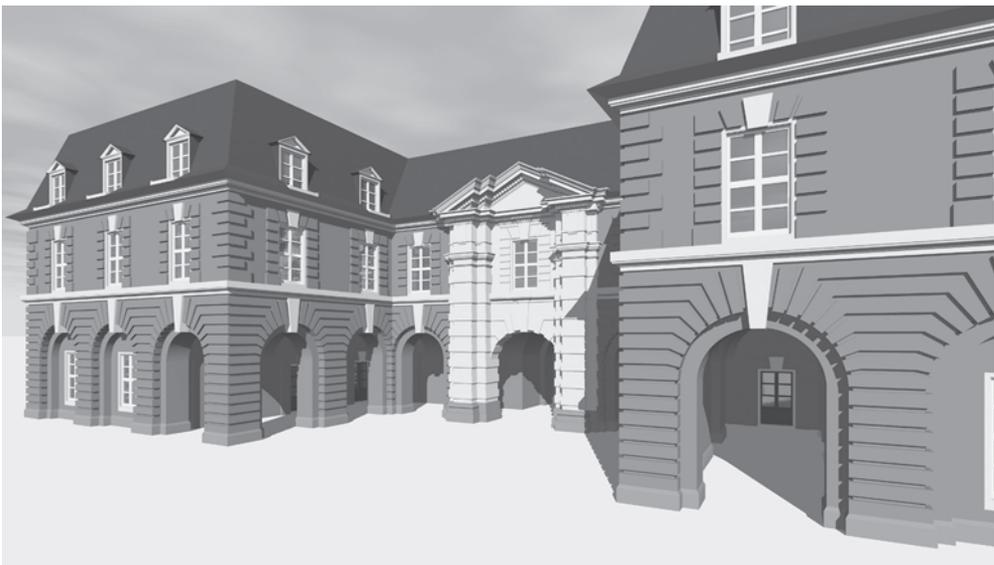


Abb. 1: Bauaufnahme der Zitadelle in Wesel: 3D-Modell mit Rekonstruktion der Mansardendächer vor 1945.

gitale Kleinbildkamera Nikon D70 eingesetzt. Die Sensorfläche der D70 hat eine Größe von $23,462\text{ mm} \times 15,600\text{ mm}$. Bei einer Auflösung von 3008×2000 Pixel beträgt die Pixelgröße 7,8 Mikrometer. Als Aufnahmeobjektiv wurde das 20 mm F1,8 EX DG Aspherical RF von Sigma eingesetzt. Technische Details zum Objektiv sind auf der Webseite <http://www.sigma-foto.de> spezifiziert.

Kalibrierdaten für das digitale Aufnahmesystem wurden von der Firma AICON GmbH, Braunschweig, freundlicherweise zur Verfügung gestellt. Die Abnahme eines photogrammetrischen Systems erfolgt heute i.d.R. mithilfe eines in der VDI/VDE Richtlinie Nr. 2634 Blatt 1 „Optische 3D Messsysteme, Systeme mit flächenhafter Antastung“ beschriebenen Kalibrierkörpers. Der Kalibrierkörper von AICON enthält 58 DKD-kalibrierte Teilstrecken. Die dreidimensionale Längenmessabweichung dL ergibt sich aus der Differenz zwischen dem gemessenen Wert und dem kalibrierten Wert eines Abstandes zweier Punkte (Teilstrecke). Der Grenzwert E der zulässigen dreidimensionalen Längenmessabweichung ist die Kenngröße für die Längenmessabweichung.

Zur Ermittlung dieser Daten wird mit dem Aufnahmesystem ein Bildverband von ca. 50–100 Bildern des Kalibrierkörpers aufgenommen. Das für die Architekturphotogrammetrie relevante Ergebnis einer Ka-

librierung ist ein Datensatz mit den wesentlichen Parametern der inneren Orientierung (Kammerkonstante, Lage des Bildhauptpunktes im Bildkoordinatensystem, Verzerrungsparameter).

Die photogrammetrische Aufnahme des Haupttorgebäudes der Zitadelle wurde in mehrere Bildverbände mit jeweils konvergenten Aufnahmeanordnungen unterteilt. Einzelne Bildverbände bestehen aus etwa 6 bis 8 Messbildern. Bildmaßstäbe liegen im Bereich zwischen 1:100 und 1:400. Im vorliegenden Anwendungsfall ist die Segmentierung der Gesamtaufnahme in einzelne Bildverbände mit geringer Anzahl von Messbildern eine bewährte Methode. Mit den vorgegebenen Kalibrierwerten wurde eine Messgenauigkeit bei der Bündelausgleichung eines Bildverbandes von 3 Mikrometer erzielt. Diese hohe Messgenauigkeit bei der Messung von natürlichen Punkten wurde nicht erwartet. Im Vergleich mit dem analogen Aufnahmesystem Rolleiflex 6008 metric ist zu berücksichtigen, dass für dieses System die werkseitige Kalibrierung nicht in Kombination mit dem Digitalisierungssystem, Agfa Filmscanner, vorliegt. Das Ergebnis der Bündelausgleichung lag mit letzterem System in der Größenordnung um 15 Mikrometer; aufgrund des größeren Bildmaßstabes ist aber gegenüber dem Vergleichssystem kein signifikanter Verlust an Objektgenauigkeit zu verzeichnen. Die Bestimmung der Detailpunkte am Objekt erfolgte mit beiden Aufnahmesystemen mit einer Genauigkeit von einem Zentimeter. Das entspricht der Identifizierbarkeit am Objekt und ist für die Aufgabenstellung ein wirtschaftlich erzielbarer Wert.



Abb. 2: AICON Kalibrierkörper.

3 Datenformulierung in XML Extensible Markup Language

XML (Extensible Markup Language) ist eine Metasprache zur Strukturierung von Daten. XML verwendet Tags, Schlüsselbegriffe in spitzen Klammern $< >$ und Attribute. Gegenüber HTML ist die Bedeutung der Tags und Attribute in XML nicht definiert und wird erst durch die Anwendung interpretiert.

XML-Dateien sind Textdateien, zu deren Darstellung weitere Technologien notwendig sind. Mit der Extensible Stylesheet Language (XSL) besteht die Möglichkeit, XML-Dateien für Webbrowser formatiert aufzubereiten oder in Druckformate wie PDF zu konvertieren. Wir werden zunächst die photogrammetrischen Daten unseres Architekturprojekts in XML formulieren und hier in Auszügen wiedergeben.

Die Daten eines photogrammetrischen Bildverbandes, die für die weitere Bearbeitung relevant sind, umfassen die Kameradaten, die Fotopositionen, tachymetrisch bestimmte Kontrollpunkte, korrespondierende Objektpunkte der Bündelausgleichung und photogrammetrisch bestimmte grafische Elemente der Detailauswertung.

XML-Dokumente beginnen mit einem Prolog, das ist der Bereich vor dem Wurzelement, der hauptsächlich die Dokumententypdefinition und Angaben zur DTD (Document Type Definition) enthält. Im weiteren Verlauf der Betrachtungen kommen wir auf die DTD zurück.

Zunächst wird das XML-Dokument wie folgt notiert:

```
<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1" standalone="yes"?>
<!DOCTYPE imageBundle SYSTEM "imageBundle.dtd">
<imageBundle>
  <!-- Inhalt des Dokuments -->
</imageBundle>
```

Mit dem Wurzelement *imageBundle* wird eine Instanz der Dokumentenklasse, die in der !DOCTYPE Anweisung angegeben ist, angelegt. Ein Element mit Unterelementen wird durch einen Knoten im Strukturbaum des XML-Dokuments dargestellt. Eine Kamera besteht aus den Elementen: Bezeichnung, Kammerkonstante, Hauptpunktlage, Verzeichnung, Bildformat. Ein Fotostandpunkt wird formuliert durch die Bezeichnung, benutzte Kamera, Koordinaten des Aufnahmeorts und Richtung der Aufnahme. Start-Tag und Ende-Tag einer XML-Datei müssen mit Ausnahme des vorangestellten Schrägstrichs im Ende-Tag genau übereinstimmen. Ein Element besteht aus

Start-Tag, Inhalt (Wert) und Ende-Tag. Attribute sind innerhalb des Start-Tags paarweise in der Kombination Name und Wertzuweisung abgelegt. Die Daten der Aufnahmesysteme sind in der XML-Struktur wie folgt gespeichert:

```
<cameraData>
  <camera>
    <type>nikon-28</type>
    <ck>-18.23718</ck>
    <xh>-0.09973</xh>
    <yh>-0.01304</yh>
    <a1>-3.03846E-004</a1>
    <a2>6.43569E-007</a2>
    <formX>23.462</formX>
    <formY>15.600</formY>
  </camera>
</cameraData>
```

Betrachtet man eine XML-Datei mit einem Web-Browser, dann zeigt dieser die Baumstruktur des Dokuments an. Die einzelnen Knoten können durch Klick auf das vorangestellte Zeichen geöffnet oder geschlossen werden. Im MSIE stellt sich der Strukturbaum wie in der Abb. 3 dar. Zur formatierten Betrachtung im Browser bedarf es einer



Abb. 3: Strukturbaum einer XML-Datei, angezeigt im MSIE.

Transformation. Die Umsetzung erfolgt mit XSL (Extensible Stylesheet Language). Der Einsatz des XSL-Prozessors kann serverseitig, online im Browser oder offline erfolgen. Im letzteren Fall wird dann die HTML-Datei auf dem Server vorgehalten. Als weiteres XML-Werkzeug findet XPATH Anwendung. Mit XPATH besteht die Möglichkeit, Auszüge aus einer XML-Datei zu erstellen und nach Mustern zu durchsuchen. Wir referenzieren die externe XSL-Definition im Prolog der XML-Datei wie folgt:

```
<?xml-stylesheet          version="1.0"
href="template.xsl"      type="text/
xsl"?>
```

Ein Ausschnitt aus der Stilvorlage *template.xsl* zeigt die Verarbeitungsinformationen für die Ausgabe der Kameradaten in einer HTML-Tabelle. Innerhalb einer `<for-`

`each></for-each>` Anweisung wird nach dem Muster *imageBundle/cameraData/camera* gesucht und mit `value-of select` das gewünschte Element ausgewählt. Das Präfix `xsl` definiert den Namensraum, dem die Anweisung zuzuordnen ist. Der Tag `<tr></tr>` ist ein HTML-Tag zur Definition einer Tabellenzeile, `<td></td>` definiert den Inhalt einer Tabellenzelle. Das Attribut `class` mit dem Wert *tab_value* referenziert die Vorgaben des Layouts, die mit Cascading Style Sheets (CSS) innerhalb des XSL-Dokuments im Tag `<style></style>` eingetragen sind.

```
<xsl:for-each select="imageBundle/
cameraData/camera">
  <tr>
    <td class = "tab-value"><xsl:va-
lue-of select="type"/></td>
```

Photogrammetrische Bauaufnahme Zitadelle Wesel [FH BI 10.2004]								
Kontrollpunkte / Tachymeteraufnahme:								
Punkt.Nr	code	x	y	z				
01	99	212.761	83.730	11.164				
02	99	200.000	100.000	10.000				
02	99	201.346	100.007	10.009				
Aufnahmesysteme:								
Type	ck	xh	yh	a1	a2	Format b/h		
nikon_28	-28.0	0.0	0.0	-.5	-0.05			
6008_50	-51.024	-0.25	-0.16	-1.07400E-005	1.04300E-002			
Photo-Positionen:								
Bezeichnung	Kamera-Typ	x0	y0	z0	wx	wy	wz	Bilddatei href
Orientierungspunkte:								
PNr	code	x	y	z	sx	sy	sz	
35	88	212.006	99.960	13.686	0.003	0.006	0.003	
37	88	207.409	99.949	13.680	0.003	0.006	0.003	
42	88	212.301	100.045	17.953	0.004	0.009	0.005	

Abb. 4: XSL-Transformation der XML-Datenstruktur in eine HTML-Tabelle.

```

<td class = "tab-value"><xsl:va-
  lue-of select="ck"/></td>
<td class = "tab-value"><xsl:va-
  lue-of select="xh"/></td>
<td class = "tab-value"><xsl:va-
  lue-of select="yh"/></td>
</tr>
</xsl:for-each>

```

XML-Dokumente können wohlgeformt oder gültig sein. Aus einem wohlgeformten XML-Dokument wird durch Ergänzung mit einer Document Type Definition (DTD) ein gültiges Dokument. Die DTD enthält das Vokabular und die Regeln zur Verarbeitung der Informationen eines XML-Dokuments. Definiert werden alle Elemente, Attribute und Entitäten und Angaben zu Anzahl, Inhalt und Verschachtelung der Elemente. Die DTD wird mit der Anweisung !DOCTYPE im Prolog eingeleitet. Die Definition selbst, kann eingebettet oder extern in einer Datei gespeichert sein. Ein Auszug aus der DTD für den Bereich der Kameradaten, der auf die Kontrollpunkte folgt, gestaltet sich wie folgt:

```

<!DOCTYPE imageBundle [
  <!ELEMENT imageBundle
    (controlPoints*,
     cameraData*,
     photoPositions*,
     orientationPoints*,
     graphicElements*)>
  <!ELEMENT controlPoints
    (point*)>
  <!ELEMENT point (pnr*, code*,
    x+, y+, z+)>
  <!ELEMENT pnr (#PCDATA)>
  <!ELEMENT code (#PCDATA)>
  <!ELEMENT x (#PCDATA)>
  <!ELEMENT y (#PCDATA)>
  <!ELEMENT z (#PCDATA)>
  <!ELEMENT cameraData (camera+)>
  <!ELEMENT camera (type+, ck+,
    xh+, yh+, a1+, a2+, formX+,
    formY+)>
  <!ELEMENT type (#PCDATA)>
  <!ELEMENT ck (#PCDATA)>
  <!ELEMENT xh (#PCDATA)>
  <!ELEMENT yh (#PCDATA)>
  <!ELEMENT a1 (#PCDATA)>
  <!ELEMENT a2 (#PCDATA)>
  <!ELEMENT formX (#PCDATA)>
  <!ELEMENT formY (#PCDATA)>

```

Auf die Diskussion der Details muss hier verzichtet werden. Es ist noch darauf hinzuweisen, dass die DTD zukünftig durch die leistungsfähigere Strukturbeschreibungssprache XSchema abgelöst wird.

Was haben wir nun durch Speicherung der Projektdaten in einer XML-Datei und Definition eines XSL-Stylesheets erreicht? Die Daten wurden strukturiert, getrennt von der Verarbeitung gespeichert. Die XSL-Transformation, im vorliegenden Fall die Konvertierung in das HTML-Format, dient lediglich der ansprechenden Anzeige des Datenmaterials. Es ist jedoch beabsichtigt, das Projekt zur weiteren Bearbeitung in einer Client-Server-Umgebung bzw. im Web weiteren Anwendern verfügbar zu machen. Erst im Rahmen dieser Anwendung wird dann der Vorteil einer strukturierten Datenspeicherung, getrennt von der Applikation, deutlich erkennbar. Zu berücksichtigen ist auch, dass moderne objektorientierte Programmiersprachen wie Java oder PHP die Bearbeitung von XML-Dokumenten durch Bereitstellung umfangreicher Methoden unterstützen.

4 Serverseitige Anwendungen mit PHP Hypertext Preprozessor

Funktionalitäten, die ein Webbrowser nicht beinhaltet, werden clientseitig z. B. durch JavaScript zugänglich. Unter www.programmierpraktikum.de befindet sich ein Beispiel zur Berechnung räumlicher Vorwärtseinschnitte. Im Menüpunkt JavaScript ist eine HTML-Seite aufrufbar, die das Interface zur Ein- und Ausgabe der Daten und eine in JavaScript realisierte Berechnungsfunktion bereitstellt. Es besteht aber keine Möglichkeit des Dateizugriffs, weder clientseitig noch serverseitig.

Den serverseitigen Zugriff auf die XML-Datenstruktur kann man mit der Programmiersprache PHP realisieren. PHP ist als Servererweiterung zu verstehen. Die vom Client gestellte Anfrage wird beispielsweise wie folgt übermittelt:

```

http://www.imagefact.de/zitadelle-wesel/
parse_camera.php?camera=nikon_28

```

Der Server erkennt an der Erweiterungsbezeichnung `php`, dass zunächst die HTML-Seite generiert werden muss, bevor die Seite an den anfragenden Client übermittelt wird. In der Anfrage wurde gleichzeitig das Argument `nikon_28` mit übergeben. Es wird jetzt in der XML-Datenstruktur nach den Kameradaten gesucht. Zu diesem Zweck wird das XML-Dokument geparkt. Ein Parser analysiert die Syntax eines Dokuments und listet im vorliegenden Fall die Daten auf bzw. stellt deren Gültigkeit fest. Expat ist ein in PHP integrierter Parser für XML-Dokumente. Expat ist ein ereignisorientierter Parser. Ereignisse sind z. B. das Auftreten eines öffnenden Tags, das Vorkommen von zwischen den Tags eingeschlossenen Inhalten oder ein schließender Tag. Zur Verarbeitung dieser Ereignisse werden vom Programmierer die Funktionen wie folgt definiert:

```
// start_element()-wird vom XML-Parser
// bei öffnenden Tags aufgerufen
function start_element
($parser, $name) {
    global $curr_tag;
    $curr_tag = $name;
}
// end_element()-wird vom XML-Parser
// bei schließenden Tags aufgerufen
function end_element
($parser, $name)
{
    global $curr_tag;
    $curr_tag = $name;
}
// daten()-wird vom XML-Parser für In-
// halte aufgerufen
// hier mit Bereitstellung der Kamera-
// daten
function inhalt ($parser, $data) {
    global $curr_tag, $index, $camera;
    switch ($curr_tag) {
        case "type" :
            $index = $data;
            break;
        case "ck" :
            $camera[$index][ck] = $data;
            break;
        case "xh" :
            $camera[$index][xh] = $data;
            break;
        case "yh" :
```

```
            $camera[$index][yh] = $data;
            break;
        case "a1" :
            $camera[$index][a1] = $data;
            break;
        case "a2" :
            $camera[$index][a2] = $data;
            break;
        case "formX" :
            $camera[$index][formX] = $data;
            break;
        case "formY" :
            $camera[$index][formY] = $data;
            break;
    }
}
```

Zum Aufruf des Parsers sind folgende Anweisungen hinreichend:

```
// Instanz des XML-Parsers erzeugen
$parser = xml_parser_create();
//
// Parameter des XML-Parsers setzen
xml_parser_set_option( $parser,
XML_OPTION_CASE_FOLDING, 0 );
//
// Handler für Elemente ( öffnende /
// schließende Tags ) setzen
xml_set_element_handler( $parser,
"start_element", "end_element" );
// Handler für Inhalte setzen
xml_set_character_data_handler(
$parser, "inhalt" );
//
// Versuchen, die Datei zu öffnen
if ( ! ($fp = fopen( "zitadelle.xml",
"r" ) ) )
{
    // Fehler -> Ausführung abbrechen
    die("XML Fehler: Konnte Datei nicht
    öffnen.");
}
//
// Datei zeilenweise auslesen
while( $data = fread( $fp, 4096 ) )
{
    // aktuelle Zeile parsen
    if ( !xml_parse( $parser, $data,
feof( $fp ) ) )
    {
        // Fehlerbehandlung
        die ( "XML Error: ".
            xml_error_string(
            xml_get_error_code(
            $parser ) ) .
            "in Zeile ".
```

```

        xml_get_current_line_num-
        ber( $parser )
    );
}
}
// Speicher wieder freigeben
xml_parser_free( $parser );

```

Die Daten werden in der Funktion `inhalt()` im mehrdimensionalen Array `camera[][]` gespeichert. An dieser Stelle ist es notwendig, auf die Handhabung mehrdimensionaler Arrays in PHP etwas näher einzugehen. Arrays werden durch Angabe von eckigen Klammern deklariert, dabei kann auf den Index verzichtet werden, da die Elemente immer an das Ende des Arrays angehängt werden. Ein Array-Element kann wieder ein Array sein, hierdurch sind mehrdimensionale Felder deklariert. Der Array-Index muss in PHP nicht durch eine Ganzzahl bezeichnet werden, dieser Schlüssel kann eine beliebige Zeichenkette sein. Wir sprechen von assoziativen Arrays, die Elemente können z.B. mit `camera[nikon_28][ck]` referenziert werden. Dort ist dann die Kamerakonstante des mit `nikon_28` bezeichneten Aufnahmesystems abgelegt. Mit diesen Informationen sollte die Datenbereitstellung innerhalb der obigen Switch-Anweisung in der Funktion `inhalt()` transparent sein.

Die beim Client im Browser angezeigte Seite enthält nur noch die HTML-Anweisungen, die serverseitig vom PHP-Prozessor erzeugt wurden. Innerhalb eines PHP-Scripts können die HTML-Anweisungen durch die Funktion `echo()` generiert werden. Abschließend noch ein Blick auf die Verarbeitung der Kameradaten, hier als einfache Anzeige im Browser:

```

// Sortieren des Arrays nach Schlues-
// seln
// ksort, krsort (absteigend);
// Feld sortieren, Zuordnung zwischen
// Elementen und Schluesseln erhalten
ksort($camera);
//
// Pointer auf den Anfang des Feldes
// setzen reset($camera);
//
// each in Verbindung mit list durch-
// laeuft das Array

```

```

while (list ($key,$element) = each
($camera)) {
    echo ("$key= $element <br/>");
    // die Elemente sind wieder Arrays
    foreach ($element as $key => $value)
    { // Elemente der Arrays ausgeben
        echo ("$key = $value<br/>");
    }
}

```

Anhand dieser wenigen Anweisungen wird die Mächtigkeit von PHP deutlich. Mit der `list()` Funktion wird das Feld `camera` durchlaufen, Schlüssel sind hier die Bezeichnungen der Aufnahmesysteme (*nikon*, *kodak* usw.). Die `for-each` Anweisung stellt Schlüssel `ck`, `xh`, `yh` usw. und die zugehörigen Inhalte bereit, die dann mit dem Befehl `echo()` in das HTML-Dokument geschrieben werden.

Ein weiteres Beispiel, das entsprechend dem diskutierten Quellcode leicht verifizierbar ist, stellt die Anfrage nach den Daten der äußeren Orientierung dar, vgl. auch die Angaben auf der Web-Site www.programmierpraktikum.de/pfg_publication. Das Ergebnis mit der Anbindung von JavaScript, Button mit der Beschriftung JavaScript, zeigt der



Abb. 5: Ergebnis einer Anfrage an die XML Datenbank, ausgeführt durch ein serverseitiges PHP-Script.

Browser wie in der Abb. 5 dargestellt an. Mit JavaScript kann dann clientseitig im Bild gemessen werden und nach Maßgabe der hinterlegten Modelldaten die weitere Objektbestimmung erfolgen. Die Speicherung der Daten erfolgt dann wieder serverseitig, clientseitig ausgelöst durch ein zugeordnetes Ereignis.

5 Grafik mit SVG und X3D

Die grafische Detailauswertung einer Architekturaufnahme wird üblicherweise auf der Basis der Rohdaten von Detailauswertungen mit einem CAD-System erfolgen. Ergebnisse sind die Darstellung des Bauwerks in Ansichten und Schnitten und auch als 3D-Modell für Rekonstruktionen, vgl. Abb. 1, fotorealistische Computergrafiken, Animationen und interaktive Betrachtung in VR-Umgebungen.

Mit SVG (Scalable Vector Graphics) liegt ein Web-Standard für zweidimensionale Grafiken, formuliert in XML, vor. Vektorgrafiken haben gegenüber Rastergrafiken den Vorteil, dass ohne Qualitätsverlust eine beliebige Vergrößerung möglich ist. Neben der Darstellung von geometrischen Formen können Rastergrafiken und Grafikeffekte in SVG-Dokumente eingebunden werden. Die Elemente können mit Hyperlinks ausgestattet sein. Durch Interaktion und Animation sind Präsentationsmöglichkeiten gegeben, die dem Medium Internet gerecht werden. Voraussetzung zur Betrachtung von SVG-Dokumenten ist die Einbindung eines SVG-Viewers in den Web-Browser. Derzeit ist der SVG-Viewer von Adobe populär.

Abb. 6 zeigt einen Ausschnitt aus der Übersicht der Messbildanordnung. Die Kamerasymbole enthalten in Form eines Hyperlinks die oben beschriebene Anforderung des Messbildes und der zugehörigen Daten der äußeren Orientierung. Bei Klick auf das Kamerasymbol öffnet sich ein separates Fenster, in dem dann bedarfsweise weitere photogrammetrische Auswertungen vorgenommen werden können.

Ohne zu sehr ins Detail zu gehen, soll noch kurz die Konvertierung der CAD-Daten in ein SVG Format erörtert werden.

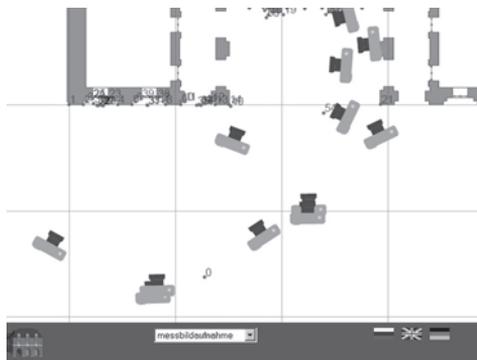


Abb. 6: Messbildanordnung (Ausschnitt).

Quelldatei ist ein DXF-Format, das u. a. aus den Sektionen `Blocks` und `Entities` besteht. Unser Konverter berücksichtigt die, in beiden Sektionen vorkommenden Grafikelemente Linie, Ellipsenbogen (Kreis) und Polylinien. Innerhalb von Polylinien werden Ellipsenbogen im DXF-Format als sog. Bulges behandelt. Die Umsetzung dieser Elemente in SVG-Pfade erfordert einen gewissen Programmieraufwand und die Kenntnis der geometrischen Beziehungen. Eine detaillierte Darstellung findet man unter <http://www.afralisp.com/lisp/Bulges1.htm>. Die Attributzuordnung `Layer`, die im DXF-Format als Selektionskriterium und zur Bündelung von Gestaltungsattributen nutzbar ist, wird in die SVG-Datei als `Class`-Attribut übertragen. Die Ausgestaltung einer SVG-Grafik erfolgt durch die bereits erörterten Stylesheets und erlaubt daher eine sehr flexible Handhabung. Blöcke aus der DXF-Datei werden auch im SVG-Dokument, hier als Gruppen, beibehalten. Auf diese Gruppen können Transformation, Skalierung und Rotation angewandt werden, vgl. Kamerasymbole in Abb. 6. Somit wird auch die Entität `Insert` einer DXF-Datei bei der Konvertierung berücksichtigt. Geschlossenen Linienzüge, die in SVG mit `Path` bezeichnet werden, sind auch mit Flächenfüllung durch Muster (`Pattern`) oder Farbe zu gestalten. Abb. 7 zeigt die exemplarische Auswertung der hofseitigen Fassadenansicht der Zitadelle in Wesel. Auf der Webseite www.imagefact.de/zitadelle-wesel kann



Abb. 7: Photogrammetrische Auswertung der hofseitigen Fassade im SVG-Format.

man in die Grafik ein- und auszoomen und weitere Viewer-Funktionen durch Aufruf des Kontext-Menüs (rechte Maustaste) nutzen. Unter anderem steht hier auch eine Funktionalität zur komprimierten Speicherung komplexer Dateien zur Verfügung.

Für 3D-Grafiken im Web galt bisher das Format VRML Virtual Reality Modeling Language, mit der Dateierweiterungsbezeichnung `.wrl` oder `.wrlz` für komprimierte Dateien. Dieses Format wird zukünftig ebenfalls durch eine XML-Formulierung ersetzt. Der Standard ist dann die DTD für extensible 3D (X3D). Unter Windows ist mit Octaga ein 3D Viewer, der stand-alone oder als Plug-in die Formate VRML und X3D anzeigen kann, verfügbar. Ein auf Java basierendes Konvertierungswerkzeug `Vrml97ToX3d-Nist` ist von der Web-Site des National Institute of Standards and Technology zu beziehen. Zur Vertiefung weiterer Details und zur interaktiven Navigation durch die Zitadelle Wesel sollte der Leser die, in den Referenzen angegebenen Webseiten besuchen.

6 Zusammenfassung

XML und zugehörige Technologien sind die Grundlage von Web-Applikationen der zweiten Generation. Während bisherige Anwendungen auf der Basis von HTML die Gestaltung von Publikationen zur Zielstellung hatten, steht künftig die strukturierte Speicherung von Informationen, Interak-

tion und verteilte Weiterverarbeitung der Daten im Fokus. Eine exemplarische Anwendung der Architekturphotogrammetrie wurde zur Skizzierung der Möglichkeiten und Einführung in die Sprachen XML, XSL, PHP, SVG und X3D herangezogen. Aus der Sicht des Endanwenders kann besonders die Formulierung von Grafikdaten in SVG eine Innovation darstellen. Einerseits bietet die „Zeichnungsausgestaltung“ mit Interaktion, Animation und Hyperlinks das adäquate Spektrum für multimediale Umgebungen, darüber hinaus ist die Bedeutung von Scalable Vector Graphics auch für Printmedien nicht unerheblich.

Softwarehersteller werden ihre Datenstrukturen in XML formulieren, nicht zuletzt auch wegen der mächtigen Unterstützung durch objektorientierte Programmiersprachen wie Java oder PHP. Möglicherweise wird dann in den Normungsausschüssen auch über die Formulierung von DTDs für photogrammetrische Applikationen entschieden.

Diese Arbeit entstand im Rahmen eines Forschungsaufenthaltes von Dr. NIKOLAY M. DEMENTIEV, Universität Wologda, Russland am Fachbereich Architektur und Bauingenieurwesen der Fachhochschule Bielefeld in Zusammenarbeit mit dem Preußen-Museum NRW. Gefördert wurde das Vorhaben durch ein Michail-Lomonosov-Stipendium des DAAD.

Literatur

- POMASKA, G., 2005: Grundkurs Web-Programmierung. – Vieweg-Verlag, Wiesbaden.
- POMASKA, G., 2003: Introduction of SVG as a data interchange format for architectural documentations. – CIPA International Symposium, Antalya, Turkey.
- POMASKA, G., 2003: Implementation of Web 3D tools for creating interactive walk-through environments from building documentations. – ISPRS WG V/4 and IC WG V/III International Workshop on Vision Techniques for Digital Architectural and Archaeological Archives, Ancona, Italy.
- VELTZKE, V., 2001: Preußische Festung Wesel. – Reihe „Der historische Ort“, Nr. 87, Kai Homilius Verlag, Berlin.
- <http://www.imagefact.de/zitadelle-wesel>
Website zum Projekt Bauaufnahme der Zitadelle in Wesel.
- http://www.programmierpraktikum.de/pfg_publication
Die Website zur Publikation mit Programmierbeispielen.
- http://ovrt.nist.gov/v2_x3d.html
National Institute of Standards and Technology, Konvertierung zwischen VRML 97 und X3D.
- <http://www.octaga.com>
Octaga VRML/X3D Viewer
- <http://www.sigma-foto.de/>
Sigma Kameras und Objektive
- <http://www.afralisp.com/lisp/Bulges1.htm>
Beschreibung von Polyline Bulges.
- <http://www.adobe.com/svg>
Download SVG-Viewer

Anschriften der Autoren:

Prof. Dr.-Ing. GÜNTER POMASKA
FH Bielefeld,
Labor für visuelle und virtuelle Realität
Artilleriestr. 9
D-32427 Minden
e-mail: gp@imagefact.de
<http://www.divide-by-zero.com>

Dr. NIKOLAY M. DEMENTIEV
Staatliche Technische Universität Wologda, Lehrstuhl für Industrie- und Zivilbau
Lenin Str. 15, 160035 Wologda, Russland
e-mail: ndementiev@mh.vstu.edu.ru

Manuskript eingereicht: Februar 2005
Angenommen: April 2005

Eine Gegenüberstellung von Reliefapproximationen mithilfe von Verfahren der Ausgleichsrechnung und der Spline-Theorie

OLGA WÄLDER, Dresden

Keywords: quality measures, relief approximation, wavelet-splines

Zusammenfassung: Das Ziel dieser Arbeit ist sowohl ein theoretischer als auch ein empirischer Qualitätsvergleich von Reliefapproximationen bestimmter analytischer Formen und mit verschiedenen Grundannahmen. Die klassische Ausgleichung liefert die beste Lösung im Sinne der Methode der kleinsten Quadrate. Die so genannte Interpolationsforderung wird dabei normalerweise nicht erfüllt, d. h. an bestimmten Stützpunkten gemessene Werte werden nicht unbedingt wiedergegeben. Die Spline-Theorie bietet einige, die Interpolationsforderung erfüllende Lösungen des Approximationsproblems. Es ist interessant, zu vergleichen, inwieweit diese beiden Lösungen „stabil“ im Sinne der Qualität der Reliefapproximation sind, wenn das Gitter der Messpunkte, die in die ursprüngliche Berechnung der Approximationskoeffizienten einbezogen wurden, durch zusätzliche Messwerte erweitert wird. In dieser Arbeit werden sowohl theoretische als auch empirische Qualitätsmaße präsentiert und die Ergebnisse diskutiert.

Summary: *A comparison of relief approximations using methods of adjustment computation and spline-theory.* The aim of this paper is a theoretical as well as an empirical comparison of the quality of relief approximations of special analytical forms and with different basic assumptions. The classical least squares method gives an optimal solution in the well known sense. The so called interpolation condition is not fulfilled by the way: the measured values are not equal to the theoretical values obtained at the same points. The spline theory leads to some solutions of the approximation problem, which meet the interpolation condition. It is interesting to compare the quality of these both approaches for the case, if the basic grid of the measured values, which are considered in the preceding calculation of coefficients of the approximation, is enlarged by including additional measured values. In this paper some theoretical and empirical quality measures are presented and the final results are discussed.

1 Kurze Darstellung zweier Lösungswege eines Approximationsproblems

Gegeben: Höhenmessungen $Z_i, i = 1 \dots N^2$ auf einem Gitter $N \times N$. Ohne Einschränkung der Allgemeinheit und nur zum Zweck der Vereinfachung der Form weiterer Relationen wird vorausgesetzt, dass die Rechts- und Hochwerte im Intervall $[0,1]$ liegen, siehe WÄLDER & BUCHROITHNER (2003, 2004), WÄLDER (2005) für Details dieser Transformation bzw. der Rücktransformation. Außerdem wird angenommen, dass

$$N = 2^{k-1} + 1, k = 1, 2 \dots \quad (1)$$

Gegeben wird eine zweidimensionale, erweiterte-polynomiale Georeliefapproximation der Form (4) (weiter im Text mit dem Begriff *polynomiale Approximation vom Grad k* abgekürzt) mit $3k + 1$ unbekanntem Koeffizienten, d. h. die Komponenten des Vektors \vec{a} sollen optimal bestimmt werden, siehe (4) und (5):

$$\vec{a}: z = z(x, y) = P(x, y, \vec{a}) \quad (2)$$

Zur Lösung dieses Problem können mehrere Lösungswege führen, die von zusätzlichen Annahmen abhängen.

Wenn die Anzahl der zu bestimmenden Koeffizienten \vec{a} für die polynomiale Georeliefdarstellung kleiner als die Anzahl der Messungen ist, hat man ein *klassisches Ausgleichsproblem*, das mithilfe der Methode der kleinsten Quadrate gelöst werden kann. Hier muss die so genannte *Interpolationsforderung* (3) nicht erfüllt werden.

$$z(x_i, y_i) = Z_i, \quad i = 1 \dots N^2. \quad (3)$$

Auf weitere Details und auf die Vor- und Nachteile dieses in der wissenschaftlichen Literatur oft beschriebenen und vielseitig angewendeten Verfahrens soll hier verzichtet werden. Zur Vertiefung in diese Thematik sei beispielsweise auf SCHWARZ (1988), NIEMEIER (2002) und REIßMANN (1976) hingewiesen.

Eine etwas andere Vorgehensweise kennt man aus der *Spline-Theorie*. Hier kann zwar grundsätzlich von der gleichen Anzahl der Koeffizienten in der polynomialen Darstellung (2) ausgegangen werden, man variiert dafür aber diese Koeffizienten in lokalen Bereichen (Gitterzellen in unserem Fall), um die Interpolationsforderung (3) zu erfüllen.

In früheren Untersuchungen der Autorin wurde eine funktionale Georeliefapproximation mittels spezieller „Wellen-Strukturen“ bereits hergeleitet, siehe WÄLDER & BUCHROITHNER (2004), WÄLDER (2005). Die Anwendung der hierzu entwickelten Algorithmen auf so genannten *Wavelet-Splines* wurde für reale Georeliefe demonstriert, siehe WÄLDER, KRAINER & MOSTLER (2004). Die Grundidee der verwendeten Georeliefapproximation liegt in der sequentiellen Ableitung der analytischen Gleichung in (4):

$$\begin{aligned} P_1(x, y) &= a_0 + a_1 f_1(x) + b_1 f_1(y) + \\ &\quad c_1 f_1(x) f_1(y) \\ P_2(x, y) &= P_1(x, y) + \\ &\quad a_2(x, y) f_2(x) + b_2(x, y) f_2(y) + \\ &\quad c_2(x, y) f_2(x) f_2(y) \end{aligned} \quad (4)$$

...

$$\begin{aligned} P_k(x, y) &= P_{k-1}(x, y) + \\ &\quad a_k(x, y) f_k(x) + b_k(x, y) f_k(y) + \\ &\quad c_k(x, y) f_k(x) f_k(y) \\ k &= 2, 3 \dots \end{aligned}$$

wobei mit $f_k(\cdot)$, $k = 1, 2 \dots$ spezielle Wavelet-Funktionen oder die so genannten *Basis-Funktionen eines Wavelet-Splines* bezeichnet werden. Diese Funktionen können eine sinusoidale, zickzack-förmige oder polynomiale Form aufweisen, siehe WÄLDER (2005). Die Koeffizienten a, b, c sind Amplituden, die für lokale Bereiche individuell angepasst werden. Für den Koeffizientenvektor dieser Approximation gilt in solchen Bereichen:

$$\vec{a} = (a_0 \ a_1 \ b_1 \ c_1 \ \dots \ a_k \ b_k \ c_k)^T \quad (5)$$

$$k = 1, 2 \dots$$

Der Parameter k beschreibt somit den Schritt, die Tiefe, den sogenannten *Grad der Approximation* auf einem Gitter von Messwerten.

Eine ausführliche Beschreibung verschiedener Verallgemeinerungen des Modells (4) sowie ihre praxisbezogenen Anwendungen können WÄLDER & BUCHROITHNER (2004) und WÄLDER (2005) entnommen werden. Hier soll dem nicht näher nachgegangen werden.

Im Rahmen dieser Arbeit werden ausschließlich zickzack-förmige Wavelet-Funktionen (6) benutzt, um die weiteren Ausführungen möglichst zu vereinfachen. Abb. 1

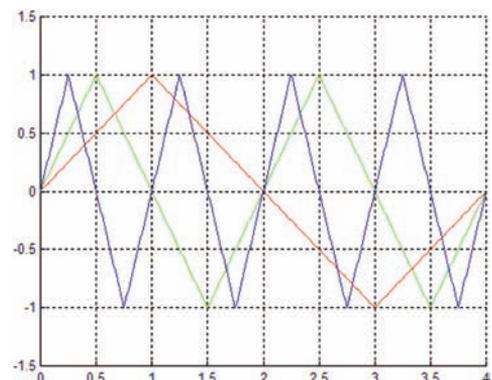


Abb. 1: Zickzackförmige Basis-Funktionen eines Wavelet-Splines (rot für $k = 1$, grün für $k = 2$ und blau für $k = 3$).

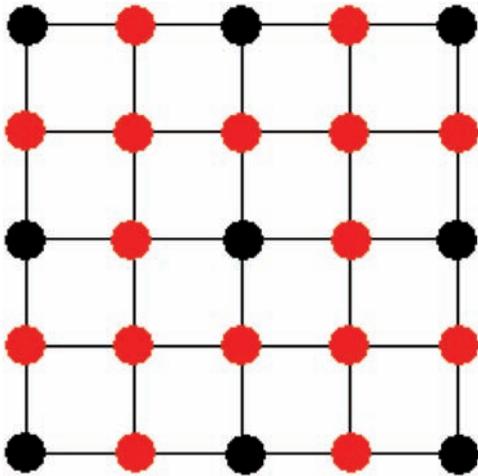


Abb. 2: Prinzip der Gittererweiterung von $k = 2$ (nur schwarze Gitterpunkte) zu $k = 3$ (schwarze und rote Gitterpunkte).

veranschaulicht den Verlauf dreier solcher Funktionen.

$$f_k(t) = \begin{cases} 2^{k-1}t^*, & t^* \in I_1 \\ 2^{k-1} \left(\left(\frac{1}{2} \right)^{k-2} - t^* \right), & t^* \in I_2 \\ 2^{k-1} \left(t^* - \left(\frac{1}{2} \right)^{k-3} \right), & t^* \in I_3 \end{cases}$$

mit $t^* = \text{mod}_{\left(\frac{1}{2}\right)^{k-3}}(t)$, $t = x, y$

$$\begin{aligned} I_1 &= \left[0, \left(\frac{1}{2} \right)^{k-1} \right] \\ I_2 &= \left[\left(\frac{1}{2} \right)^{k-1}, \left(\frac{1}{2} \right)^{k-2} + \left(\frac{1}{2} \right)^{k-1} \right] \\ I_3 &= \left[\left(\frac{1}{2} \right)^{k-2} + \left(\frac{1}{2} \right)^{k-1}, \left(\frac{1}{2} \right)^{k-3} \right] \end{aligned} \tag{6}$$

$k = 1, 2 \dots$

Nun soll die Approximation vom Grad k auf einem $N \times N$ -Gitter, $N = 2^{k-1} + 1$, durchgeführt werden. In den in den Abschnitten 2 und 3 durchgeführt Untersuchungen soll die folgende Frage beantwortet werden: Wie genau ist diese Approximation (wie „stabil“ bleibt sie) für ein *erweitertes*

Gitter mit $N = 2^k + 1$ für verschiedene Approximationsansatze? Abb.2 veranschaulicht eine derartige Erweiterung eines Gitters.

2 Theoretische Grundlagen beider Lösungswege

Wir gehen in diesem Abschnitt von einem ursprüngliches $N \times N$ -Gitter mit $N = 2^{k-1} + 1$ und einer polynomialen Approximation vom Grad k (mit $3k + 1$ Koeffizienten) aus, siehe (2) und (4).

2.1 Die Methode der kleinsten Quadrate

Wir führen folgende Bezeichnungen ein:

$$\underline{F}^k = \begin{bmatrix} \vec{f}_1^T \\ \dots \\ \vec{f}_{N^2}^T \end{bmatrix} = [\vec{f}_i^T]$$

$$\vec{f}_i^T = [1 \ f_1(x_i) \ f_1(y_i) \ f_1(x_i)f_1(y_i) \ \dots \ f_k(x_i) \ f_k(y_i) \ f_k(x_i)f_k(y_i)]$$

$i = 1 \dots N^2$, $N = 2^{k-1} + 1$ (7)

Die Lösung \vec{a} des Approximationsproblems (2) entspricht hier der Lösung \vec{a}_A^k des Ausgleichungsproblems (8) und ist der Gleichung (9) zu entnehmen. Als *theoretisches Genauigkeitsmaß der Approximation vom Grad k* kann die Norm des Vektors $\|\vec{v}^k\|$ verwendet werden.

$$\underline{F}^k \cdot \vec{a}_A^k = \vec{Z}^k$$

$$\vec{a}_A^k = [a_0^A \ a_1^A \ b_1^A \ c_1^A \ \dots \ a_k^A \ b_k^A \ c_k^A]^T \tag{8}$$

$$\vec{Z}^k = [Z_1 \ Z_2 \ \dots \ Z_{N^2}]^T = [Z_i]^T,$$

$i = 1 \dots N^2$.

$$\|\vec{v}^k\| = \|\underline{F}^k \cdot \vec{a}_A^k - \vec{Z}^k\| \rightarrow \min(\vec{a}_A^k) \Rightarrow$$

$$\vec{a}_A^k = ((\underline{F}^k)^T \underline{F}^k)^{-1} (\underline{F}^k)^T \vec{Z}^k \tag{9}$$

$$\|\vec{v}^k\| = \|\underline{F}^k ((\underline{F}^k)^T \underline{F}^k)^{-1} (\underline{F}^k)^T \vec{Z}^k - \vec{Z}^k\|$$

Hinweis 1: Wir verzichten in (9) auf die Darstellung der numerischen Lösung mittels der QR-Zerlegung. Diese kann zum Beispiel in SCHWARZ (1988) gefunden werden.

Nun soll das ursprüngliche Gitter mit $(2^{k-1} + 1) \times (2^{k-1} + 1)$ Messwerten zu einem Gitter mit $(2^k + 1) \times (2^k + 1)$ Messwerten er-

weitem werden, siehe Abb. 2. Zur Untersuchung der Güte der auf dem ursprünglichen Gitter durchgeführten Approximation vom Grad k auf dem nun erweiterten Gitter muss die Norm des Vektors $\|\vec{v}^{k+1}\|$ aus (10) bestimmt werden:

$$\|\vec{v}^{k+1}\| = \|\underline{F}^{k+1} \cdot \vec{a}_A^k - \vec{Z}^{k+1}\| \quad (10')$$

Unter Verwendung der offensichtlichen Beziehungen (11) auf dem erweiterten Gitter

$$\underline{F}^{k+1} = \begin{bmatrix} \underline{F}^k \\ \underline{F}^* \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$\vec{Z}^{k+1} = \begin{bmatrix} \vec{Z}^k \\ \vec{Z}^* \end{bmatrix}$$

gilt für das theoretische Genauigkeitsmaß der polynomialen Approximation vom Grad k nach der Methode der kleinsten Quadrate:

$$\|\vec{v}^{k+1}\| = \|\vec{v}^k\| + \|\underline{F}^* \cdot \vec{a}_A^k - \vec{Z}^*\| \quad (10'')$$

wobei der Lösungsvektor \vec{a}_A^k der Gleichung (9) zu entnehmen ist. Mit Stern werden in (11) die Blöcke der Matrix \underline{F}^{k+1} bzw. des Vektors \vec{Z}^{k+1} bezeichnet, die sich auf die neuen, nach der Gittererweiterung hinzu gekommenen Messwerte beziehen, d. h.:

$$\underline{F}^* = [\vec{f}_j^T]$$

$$\vec{Z}^* = [Z_j] \quad (11')$$

$$j = N^2 + 1, N^2 + 2, \dots (2^k + 1)^2$$

Als ein relatives theoretisches Genauigkeitsmaß der polynomialen Approximation vom Grad k auf dem erweiterten Gitter nach der Methode der kleinsten Quadrate kann das um die Anzahl $(2^k + 1)^2$ der Punkte normierte theoretische Genauigkeitsmaß (10'') verwendet werden.

2.2 Das Wavelet-Spline-Verfahren

Wir führen nun eine einfache Operation ein, um die Darstellungsform der weiteren Ausführungen durch verschachtelte Matrizenprodukte nicht unnötig zu erschweren.

Definition: Die folgende Operation (12) wird als *Stretching* bezeichnet. Das Ergebnis der

Anwendung dieser Operation auf eine Matrix bzw. auf einen Vektor ist wiederum eine Matrix bzw. ein Vektor. Diese Operation führt zu einer durch einen ganzzahligen Vektor B gesteuerten Wiederholung einiger Zeilen der Matrix bzw. des Vektors A .

$$A \circ B = \begin{bmatrix} \left. \begin{matrix} A_1 \\ \dots \\ A_1 \end{matrix} \right\} B_1 \\ \left. \begin{matrix} A_2 \\ \dots \\ A_2 \end{matrix} \right\} B_2 \\ \dots \\ \left. \begin{matrix} A_n \\ \dots \\ A_n \end{matrix} \right\} B_n \end{bmatrix} \quad (12)$$

wobei A und B eine identische Zeilenanzahl haben müssen.

Unter Verwendung der Bezeichnung (13), die in Bemerkung 1 erklärt wird, kann die eindeutige Lösung M^k des Approximationsproblems (2) mithilfe eines Wavelet-Splines aus der Gleichung (14) bestimmt werden. Der konstruktive Algorithmus zur sequentiellen Herleitung dieser eindeutigen Lösung kann in WÄLDER & BUCHROITHNER (2004) gefunden werden.

$$M^k = [\vec{m}_1^{1.Zelle} \dots \vec{m}_j^{1.Zelle} \vec{m}_j^{2.Zelle} \dots \vec{m}_j^{3.Zelle} \vec{m}_j^{4.Zelle} \dots \vec{m}_{4^k}^{(N-1)2.Zelle}] \quad (13)$$

$$(\vec{m}_i^{l.Zelle})^T = [a_0^S a_1^S b_1^S c_1^S \dots a_k^S b_k^S c_{k,1(x_i,y_i)}^{S,l.Zelle}]$$

$$i = 1 \dots N^2, l = 1, 2, \dots (N-1)^2$$

$$(\underline{F}^k \circ \vec{N}^k) \cdot M^k = \vec{Z}^k \circ \vec{N}^k$$

$$\|\vec{u}^k\| = \|(\underline{F}^k \circ \vec{N}^k) \cdot M^k - \vec{Z}^k \circ \vec{N}^k\| = 0 \quad (14)$$

wobei der Vektor \vec{N}^k eine Spalte mit ganzzahligen Elementen darstellt, von denen jedes jeweils der Anzahl der Spalten der Matrix M^k aus (13) entspricht, die sich dabei auf einen festen Punkt (x_i, y_i) , $i = 1, \dots, N^2$ bezieht. Dieser Vektor hängt von der Reihenfolge der Nummerierung der Punkte auf einem Gitter ab. Beispiel 1 veranschaulicht einige Bezeichnungen aus (13) und (14) für das Gitter in Abb. 3 (nur schwarze Punkte).

Die in (14) verwendete Operation wurde in Definition 1 eingeführt. Die Norm des Vektors der Abweichungen \vec{u}^k ist gleich Null. Die Interpolationsforderung (3) ist dabei erfüllt.

Beispiel: Verwendung der Bezeichnungen aus (13) und (14) für $k = 2$, siehe Abb. 3 (nur schwarze Punkte).

Die Nummerierung der Gitterpunkte und der Gitterzellen erfolgt hier von unten nach oben und von links nach rechts.

$$M^2 = [\vec{m}_1^{1.Zelle} \ m_2^{1.Zelle} \ \vec{m}_2^{2.Zelle} \ \vec{m}_3^{2.Zelle} \\ \vec{m}_4^{1.Zelle} \ m_4^3.Zelle \ \vec{m}_5^1.Zelle \ \vec{m}_5^2.Zelle \\ \vec{m}_5^3.Zelle \ m_5^4.Zelle \ \vec{m}_6^2.Zelle \ \vec{m}_6^4.Zelle \\ \vec{m}_7^3.Zelle \ \vec{m}_8^3.Zelle \ \vec{m}_8^4.Zelle \ \vec{m}_9^4.Zelle]$$

$$(\vec{m}_i^{l.Zelle})^T = [a_0^S \ a_1^S \ b_1^S \ c_1^S \ a_1^S \ b_2^S \ c_2^S]_{(x,y)},$$

$$i = 1 \dots 3^2, \ l = 1, 2, 3, 4$$

und

$$\vec{N}^2 = [1, 2, 1, 2, 4, 2, 1, 2, 1]^T$$

Bemerkung: Die Bezeichnung aus (13) soll an dieser Stelle nochmals näher erläutert werden. Wie man auch am Beispiel sehen kann, werden einige Gitterpunkte in die Berechnung von Spline-Koeffizienten zwei bzw. viermal einbezogen, weil sie gleichzeitig zu zwei bzw. vier benachbarten Gitterzellen gehören, siehe auch Abb. 3. Man kann leicht nachweisen, dass sich dadurch die Anzahl der Gleichungen in (14) bis auf 4^k erhöhet, was der Anzahl der unbekannt Koeffizienten der Matrix M^k genau entspricht. In der Bezeichnung (13) wurde speziell die vierfache Berücksichtigung eines inneren Gitterpunktes m_j in den Gitterzellen mit den Nummern 1, 2, 3 und 4 hervorgehoben.

Nach der Erweiterung des ursprünglichen Gitters wie in Abb. 2 und unter der Berücksichtigung von (11) und (14), der Definition 1 und der fortlaufenden Nummerierung der dazu kommenden Punkte gilt für *das theoretische Genauigkeitsmaß der polynomialen Approximation vom Grad k mithilfe eines Wavelet-Splines:*

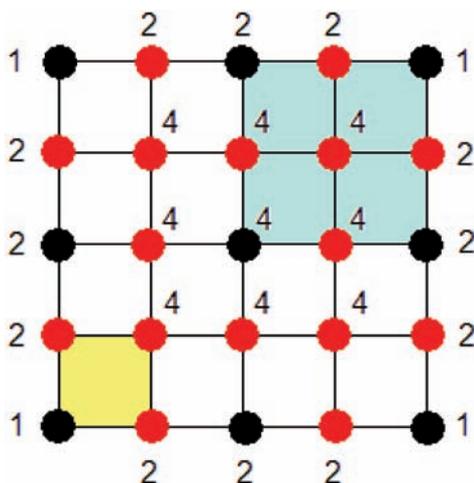


Abb. 3: Illustration der vierfachen Einbeziehung von Gitterpunkten für $k = 2$ (nur schwarze Punkte, die exemplarische Gitterzelle ist hellblau) und $k = 3$ (schwarze und rote Punkte, die exemplarische Gitterzelle ist hellgelb).

$$M^{k+1} = [M^k, M^*] \tag{15}$$

$$\vec{N}^{k+1} = \begin{bmatrix} \vec{N}^k \\ \vec{N}^* \end{bmatrix}$$

$$\|\vec{u}^{k+1}\| = \|(\underline{F}^{k+1} \circ \vec{N}^{k+1}) \cdot M^{k+1} - \vec{Z}^{k+1} \circ \vec{N}^{k+1}\| \\ = \|\vec{u}^k\| + \|(\underline{F}^* \circ \vec{N}^*) \cdot M^* - \vec{Z}^* \circ \vec{N}^*\| \\ = \|(\underline{F}^* \circ \vec{N}^*) \cdot M^* - \vec{Z}^* \circ \vec{N}^*\|$$

Als ein relatives theoretisches Genauigkeitsmaß der polynomialen Approximation vom Grad k auf dem erweiterten Gitter nach dem Wavelet-Spline-Verfahren kann das mit der Anzahl 4^{k+1} der Punkte normierte theoretische Genauigkeitsmaß (15) benutzt werden.

3 Eine Fallstudie: Höhenmessungen am Blockgletscher Reichenkar in Tirol, Osterreich

Im Rahmen einer interdisziplinären Zusammenarbeit mit dem Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Innsbruck wurden einige Untersuchungen am Blockgletscher Reichenkar (Tirol) durchgeführt. Der Reichenkar Blockgletscher liegt im In-

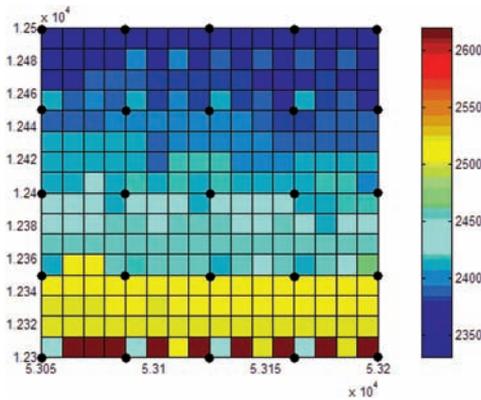


Abb. 4: 17 × 17-Gitter (Original) der Höhenmessungen (in [m]) aus einem Teilgebiet des Reichenkar Blockgletschers. Schwarz wurden die Stützpunkte des ursprünglichen 5 × 5 Gitters (Subgitter) gekennzeichnet.

neren Reichenkar, einem kleinen Seitental, das in Form eines Hängetales in das Sulztal mündet. Das Innere Reichenkar liegt ca. 4 km SE von Längenfeld im Ötztal bzw. 3 km S von Gries im Sulztal (westliche Stubai Alpen).

Von der Depression bis zur Stirn ist der Blockgletscher 1.400 m lang; im mittleren und unteren Teil 170–190 m breit und zeigt die Form eines Talgletschers. Er besitzt eine über 30 m mächtige aktive Stirn, die in einer Seehöhe von 2.310 m endet.

Zur Untersuchung des Bewegungsverhaltens dieses aktiven Blockgletschers wurden am Blockgletscher einige markierte Messpunkte (größere Felsblöcke mit eingemeißelten und mit roter Farbe markierten Messmarken) vermessen. Es wurde ein Bereich in der Stirnnähe ausgewählt. Mit diesen Höhenmessungen in diesem Bereich wurde ein regelmäßiges 17 × 17-Gitter erzeugt, das als Grundlage der Genauigkeitsuntersuchungen diente. Dieses Gitter weist starke Schwankungen der Messwerte auf, die durch eine Approximation auf der Basis seines 5 × 5-Subgitters nicht erfasst werden konnten, siehe Abb. 4. Das 5 × 5-Subgitter wurde als ursprüngliches Gitter ausgewählt.

Ausgehend von diesem 5 × 5-Gitter wurden polynomiale Approximationen des

Tab. 1: Koeffizientenüberblick für beide Methoden für die auf das Intervall [0,1] transformierten Rechts- und Hochwerte, [m].

Koeffizienten der Approximation vom Grad 3	Methode 1	Methode 2 (Mittelwerte über 16 Gitterzellen)
a_0	2431,2	2433,3
a_1	-1,9	-8,5
b_1	-25,2	-25,5
c_1	-7,2	-0,0
a_2	-0,8	0,5
b_2	-6,4	-4,1
c_2	3,7	4,3
a_3	0,2	0,5
b_3	-2,5	-0,7
c_3	1,3	5,6

Georeliefs vom Grad $k = 3$ (10 Koeffizienten) mithilfe der Methode der kleinsten Quadrate (Methode 1) und mittels des Wavelet-Spline-Verfahrens (Methode 2) durchgeführt. In Tab. 1 wird eine Koeffizientenübersicht beider Lösungswege präsentiert. Da es sich beim Wavelet-Spline-Verfahren um 16 verschiedene Gitterzellen mit jeweils 10 Koeffizienten handelte, wurden in Tab. 1 die *Mittelwerte dieser Koeffizienten* über alle 16 Gitterzellen gebildet.

Nun sollten die *empirischen Genauigkeiten* beider Methoden an Hand einer Fallstudie verglichen werden.

Als *empirisches Genauigkeitsmaß* wurde für beide Methoden die *Summe der absoluten Abweichungen (Betrag des entsprechenden Wertes)* zwischen den wahren und den approximierten Messwerten auf einem erweiterten Gitter verwendet.

Die *empirische Genauigkeit der Approximation vom Grad 3* für das 5 × 5-Gitter erreichte, in [m]

68,285	nach Methode 1 und
0,0	nach Methode 2.

Die *empirische Genauigkeit der gleichen Approximation vom Grad 3* für das erweiterte 9 × 9-Gitter nach (10') und (14) erreichte

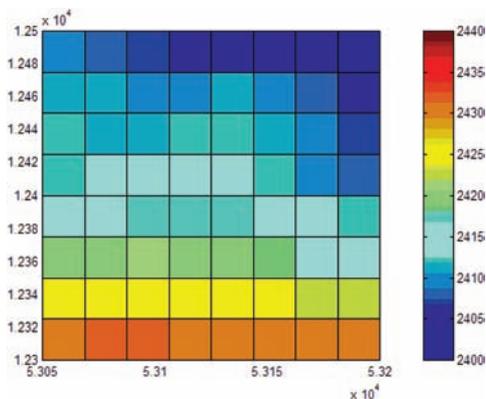


Abb. 5a: Darstellung des 9×9 -Gitters mit der Approximation vom Grad 3 nach Methode 1, [m].

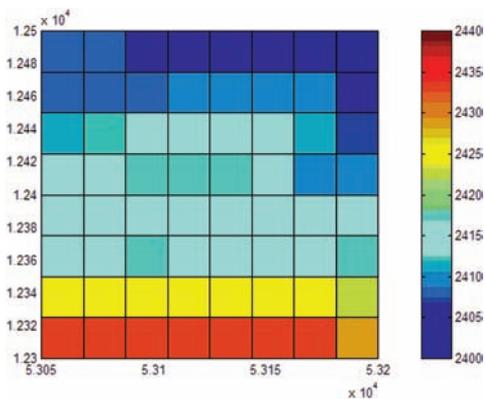


Abb. 5b: Darstellung des 9×9 -Gitters mit der Approximation vom Grad 3 nach Methode 2, [m].

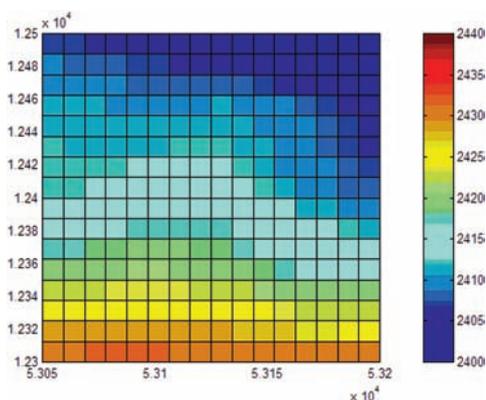


Abb. 6a: Darstellung des 17×17 -Gitters mit der Approximation vom Grad 3 nach Methode 1, [m].

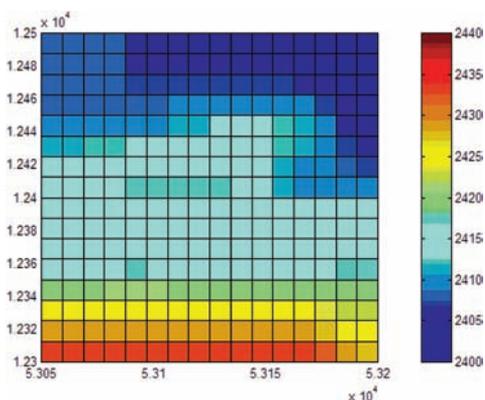


Abb. 6b: Darstellung des 17×17 -Gitters mit der Approximation vom Grad 3 nach Methode 2, [m].

2391,5 nach Methode 1 (Abb. 5a) und
2314,3 nach Methode 2 (Abb. 5b).

gende Werte der *empirischen Genauigkeiten der polynomialen Approximation vom Grad 3* ermittelt werden:

Eine weitere Erweiterung zum 17×17 -Gitter führte für die *empirische Genauigkeit der Approximation vom Grad 3* zu folgenden Ergebnissen:

76,02 für 5×5 -Gitter,
2390,7 für 9×9 -Gitter und
12568 für 17×17 -Gitter.

12580 nach Methode 1 (Abb. 6a) und
12515 nach Methode 2 (Abb. 6b).

Wenn man anstatt der nach Methode 1 ermittelten Koeffizienten die *mittleren Koeffizienten* des Wavelet-Splines aus der Tab. 1 zur Approximation benutzte, konnten fol-

Es ist leicht zu verstehen, warum die Genauigkeit für das 5×5 -Gitter für die Approximation mit Verwendung der mittleren Koeffizienten des Wavelet-Splines schlechter ist, als diejenige nach der Methode der kleinsten Quadrate. Die nach Methode 1 ermittelten Koeffizienten (und dabei nur diese) für diesen Fall sind gerade diejenigen Koeffizien-

Tab. 2: Gegenüberstellung der relativen empirischen Genauigkeiten polynomialer Approximationen vom Grad $k = 3$ in [m].

Gitter/ Methode	1	2	Mittlere Koeffizienten nach Methode 2
5×5	2,7314	0,0	3,0409
9×9	29,5249	28,5718	29,5149
17×17	43,5288	43,3036	43,4892

ten, die zu einer polynomialen Approximation führen, die das Minimum der Abweichungen zwischen den wahren und den approximierten Messwerten aufweist.

Eine theoretische Begründung der Tatsache, wann und warum die empirische Genauigkeit für die mittleren Koeffizienten des Wavelet-Splines bessere Ergebnisse auf den erweiterten 9×9 - bzw. 17×17 -Gittern zeigt, ist dagegen nicht trivial.

Tab. 2 gibt einen zusammenfassenden Überblick der *relativen empirischen Genauigkeiten* (Summe der absoluten Abweichungen geteilt durch die Anzahl der Gitterpunkte) für die oben beschriebenen Fälle.

4 Ausblick und Diskussion

Es wurden zwei verschiedene Ansätze zur Georelief-Approximation vorgestellt und an Hand einer Fallstudie verglichen. Das Testgebiet, ein Teil des Reichenkar Blockgletschers, wies starke „Unregelmäßigkeiten“ (lokale Schwingungen) im Relief auf – siehe Abb. 4. Gerade diese Eigenschaft machte die Gegenüberstellung beider Methoden besonders spannend, weil mit zunehmender Regelmäßigkeit eines Georeliefs ein geringerer Unterschied zwischen beiden Methoden bei fortschreitenden Gittererweiterungen zu erwarten ist.

Es konnte gezeigt werden, dass die „die Anzahl von Koeffizienten reduzierende“, und dabei auf die Interpolationsforderung (3) verzichtende, klassische Lösung nach der Methode der kleinsten Quadrate bei der Erweiterung des Gitters etwas ungenauer als die Wavelet-Spline-Methode ist, die die In-

terpolationsforderung berücksichtigt. Es kommt natürlich auf die konkrete, praktische Aufgabenstellung an, welche der beiden Methoden verwendet werden sollte.

Danksagung

Die Autorin möchte sich bei Prof. KRAINER, Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Innsbruck, für die angenehme Zusammenarbeit und für die zur Verfügung gestellten Daten herzlich bedanken. Zudem sei dem Staatsministerium für Wissenschaft und Kunst des Freistaates Sachsen gedankt, das durch die Gewährung einer Habilitationsförderung ebenfalls zu dieser Arbeit beigetragen hat.

Literatur

- NIEMEIER, W., 2002: Ausgleichsrechnung: eine Einführung für Studierende und Praktiker des Vermessungs- und Informationswesens. – Verlag de Gruyter, Berlin, New York.
- REIßMANN, G., 1976: Ausgleichsrechnung. – VEB Verlag für Bauwesen, Berlin.
- SCHWARZ, H. R., 1988: Numerische Mathematik. – Verlag B. G. Teubner, Stuttgart.
- WÄLDER, O. & BUCHROITHNER, M. F., 2003: Eine Anwendung von Spline-Verfahren zur DTM-Ausdünnung. – PFG **2003** (2): 99–104.
- WÄLDER, O. & BUCHROITHNER, M. F., 2004: A method for sequential thinning of digital raster terrain models. – PFG **2004** (3): 215–220.
- WÄLDER, O., KRAINER, K. & MOSTLER, W., 2004: Praktische Anwendung von speziellen Spline-Verfahren zur Gletscherkinematik am Beispiel eines aktiven Blockgletschers (Tirol). – VGI (Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation) **2004** (3/4): 107–117.
- WÄLDER, O., 2005: A method for sequential thinning of digital raster terrain models II: mixed locally adaptive wavelet-splines and anisotropy. – PFG **2005** (2): 123–127.

Anschrift der Autorin:

Dr. rer. nat. OLGA WÄLDER
 Institut für Kartographie
 Technische Universität Dresden
 Mommsenstrasse 13, D-01062 Dresden
 Tel.: +49-351-463-36200
 Fax: +49 351-463-37028, e-mail:
 Olga.Waelder@mailbox.tu-dresden.de

Manuskript eingereicht: März 2005
 Angenommen: April 2005

Linienglättung mit Snakes als Filteroperation

SIEGFRIED MEIER, Dresden & STEFAN STEININGER, Zürich

Keywords: cartographic generalization, line smoothing, active splines, snakes

Zusammenfassung: Die Linienglättung ist eine vergleichsweise einfache Prozedur – z. B. kann sie durch Tiefpassfilterung erfolgen. Hier werden, mit Rücksicht auf kombinierte Operationen der kartographischen Generalisierung, Glättungsalgorithmen mit Snakes untersucht: Unterschiedliche Snakes-Modelle, Ansätze der inneren und äußeren Energie, konstante und krümmungsabhängige Steuerung, Segmentierung und Skalierung, Iterationsvorschriften mit Abbruchkriterien, usf. – Die strukturellen Ergebnisse werden mithilfe von Filtercharakteristiken diskutiert und die numerischen an ausgewählten Testbeispielen illustriert.

Summary: *Line smoothing by snakes as filtering.* Line smoothing is a comparably simple procedure, e. g. low pass filtering. Here smoothing algorithms by snakes are examined with respect to combined procedures of cartographic generalization: Different snake models, terms of the internal energy and the external one, constant and curvature dependent controlling, segmentation, spacing, iteration procedures with stopping criteria, etc. – The structural results are discussed by means of frequency responses and the numerical one are illustrated by selected test examples.

1 Zielstellung

Aktive Konturen oder Energie minimierende Splines, bekannt unter dem Synonym *snakes*, wirken – geodätisch und *ad hoc* gesprochen – wie ausgleichende Funktionen und können deshalb zur Glättung von Liniensobjekten (LO) herangezogen werden. Nachdem die Snakes-Technik bereits zur formerhaltenden Verdrängung von LO erprobt und mit Zugriff auf ATKIS-Daten praxistauglich gemacht wurde (BURGHARDT & MEIER 1997, MEIER & BURGHARDT 1997, BADER 2001, BURGHARDT 2001, MEIER 2001), lag es nahe, LO mit Snakes zu glätten, ferner die gemeinsame Glättung und Verdrängung in lokalen Konfliktsituationen nach einheitlichen Algorithmen im Snakes-Konzept zu realisieren. Denn wie Recherchen „gut“ generalisierter topographischer Karten zeigen, wird in solchen Situationen sowohl geglättet als auch verdrängt (BURGHARDT 2001).

Die Glättung von LO ist bisher in der kartographischen Generalisierung mit einfachen Glättungsfiltren, wie dem Gaußfilter (BABAUD et al. 1986, PLAZANET et al. 1998), oder Spline-Interpolation (McMASTER 1989) durchgeführt worden. Argumente, die für die Anwendung glättender Snakes sprechen, sind die krümmungsabhängige Glättung (Abschnitt 3.3) und die Kombination mit den Verdrängungsalgorithmen.

Erste Versuche zur Glättung von LO wurden von BURGHARDT (2002) mit dem konventionellen Snakes-Modell von KASS et al. (1987) unternommen: Segmentierung der LO entsprechend ihrer „Kurvigkeit“ (ihres Krümmungsverhaltens) und getrennte Glättung der Teilstücke mit jeweils konstanten Steuerparametern. Obwohl die Ergebnisse aus (karto-)graphischer Sicht recht befriedigend ausfielen, sind Modifikationen oder Alternativen in vielerlei Hinsicht möglich. So lassen sich z. B. unterschiedliche Snakes-Modelle, die Segmentierung nach Zwangs-

punkten bzw. Nichtdifferenzierbarkeitsstellen, ortsabhängige Ansätze für die äußere Energie und/oder für die Steuerparameter, ferner unterschiedliche Iterationsalgorithmen zur Lösung der anfallenden Gleichungssysteme verwenden. Die Steuerparameter zweckdienlich zu wählen, stellt sich bei jeder Snakes-Anwendung neu, denn sie beeinflussen sowohl Struktur und Kondition der Systemmatrix, mithin die Rechengeschwindigkeit, als auch die Qualität der Lösung. Entsprechend der Fülle von Ansatz- und Lösungsmöglichkeiten wurden von STEINIGER (2003) umfangreiche strukturelle Untersuchungen und numerische Tests angestellt, deren Ergebnisse hier in den Hauptzügen vorgestellt werden sollen.

Aus Platzgründen sind die aus der Snakes-Technik bekannten, hier zum Teil modifizierten Ansätze, Gleichungen und Rechenverfahren in Tabellen zusammengefasst. Ebenso wurden die Matrizen der Snakes-Iteration nicht explizit ausgeschrieben; sie stehen in (fast) allen zitierten Snakes-Arbeiten. Aus numerischen Tests an LO ist eine Bildauswahl beigegeben.

2 Snakes-Modelle

2.1 Vorbemerkungen

Die Verformung von Snakes wird durch eine geeignet definierte, kontext-abhängige äußere (externe) Energie (E_{ext}) bewirkt, und eine den Kurven zugeordnete innere (interne) Energie (E_{int}), welche gewisse Kurveneigenschaften beschreibt, sorgt für die Form-erhaltung. Die Gleichgewichtslage findet man (als eine von mehreren Lösungsmöglichkeiten) über ein Variationsproblem, indem die Gesamtenergie, eine Linearkombination aus äußerer und innerer Energie, minimiert wird. Die dazu äquivalenten EULER-Gleichungen werden diskretisiert und iterativ gelöst.

2.2 Benutzte Modelle

Die wichtigsten Beziehungen und Gleichungen der benutzten Modelle stehen in Tab. 1.

Die Ansätze für E_{int} sind in fast allen Anwendungen gleich. Bei den konventionellen Snakes steuert der Parameter a des ersten Terms die Längen-, der Parameter β des zweiten Terms die Wölbungsänderung. Da in E_{int} Ableitungen der Koordinaten nach der Bogenlänge bis zur 2. Ordnung vorkommen, sind die EULER-Gleichungen von 4. Ordnung. Nach Diskretisierung mit finiten Differenzen (FDM) bekommt man zwei lineare Gleichungssysteme in den gesuchten Snakes-Koordinaten x, y . Die Systemmatrix A_p ist symmetrisch für konstante a, β , und bleibt es auch bei ortsabhängigen $a(s), \beta(s)$ in der von KASS et al. (1987, p. 263) angegebenen Lösung. Eine symmetrische Systemmatrix ist immer von Vorteil: Neben der Möglichkeit der CHOLESKY-Zerlegung werden unerwünschte Effekte wie Phasenverschiebung und sekundäre „Nebenzipfel“ ausgeschlossen.

Die Tangent Angle FUnction Snakes (TAFUS) wurden zu Vergleichszwecken herangezogen, weil der Parameter β eine vom Koordinatensystem unabhängige Kurveneigenschaft, die Krümmung $\dot{\varphi}$ (= Änderung der Richtung nach der Bogenlänge), direkt bewertet. Im Ansatz E_{int} steuert a die Richtungs- und β die Krümmungsänderung. Da in E_{int} außer φ nur die 1. Ableitung $\dot{\varphi}$ vorkommt, ist die EULER-Gleichung (in φ) nur von 2. Ordnung und die Matrix A_T des einen linearen Ersatzsystems tridiagonal. Gleichzeitig ist A_T symmetrisch, sogar bei ortsabhängigen $a(s), \beta(s)$, sofern man nach Vorwärtsdifferenzen diskretisiert. Auf den ersten Blick scheint dies numerisch von großem Vorteil zu sein, doch wird der Rechenzeitgewinn von Vorarbeiten, Berechnung der Tangentenwinkelfunktion (TWF) aus den Koordinaten, und Nacharbeiten, Berechnung der Koordinaten aus der TWF, wozu eine Zusatzbedingung bezüglich der Punktbeziehung erforderlich ist, teilweise wieder aufgezehrt. Außerdem neigen die TAFUS dazu, instabil zu sein, und man muss gewisse Vorkehrungen zu ihrer Stabilisierung treffen (siehe Abschnitte 2.3, 3.3, 3.4). Wegen der nicht-linearen Beziehungen zwischen polar- und rechtwinkligen Koordinaten (vgl. $\varphi, \dot{\varphi}$ in Tab. 1, rechts oben) sind beide Modelle

Tab. 1: Vergleich zweier Snakes-Modelle. Alle Größen sind Funktionen der Bogenlänge s , Punktierung bedeutet Differentiation nach s . Erläuterungen im Abschnitt 2.2.

SNAKES	TAFUS
Interne (Form-)Energie	
$E_{\text{int}} = \frac{1}{2} \left[a |\underline{\dot{v}}|^2 + \beta |\underline{\ddot{v}}|^2 \right]$	$E_{\text{int}} = \frac{1}{2} \left[a \varphi^2 + \beta \dot{\varphi}^2 \right]$
Terme: Elastizität und Zähigkeit (Glattheit)	Terme: Richtung und Krümmung
$\underline{\dot{v}} = \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{bmatrix}, \underline{\ddot{v}} = \begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \end{bmatrix}$	$\varphi = \arctan(\dot{y}/\dot{x})$ $\dot{\varphi} = \dot{x}\ddot{y} - \dot{y}\ddot{x}$
Gleichgewichtsbedingungen (EULER-Gleichungen)	
$0 = \frac{\partial E_{\text{ext}}}{\partial x} - a\ddot{x} + \beta x^{IV}$ $- a\dot{x} + \beta\dot{x} + 2\beta\ddot{x}$	$0 = \frac{\partial E_{\text{ext}}}{\partial \varphi} + a\varphi - \beta\dot{\varphi}$ $- \beta\dot{\varphi}$
(In y analog; für konstante a, β verbleibt jeweils die obere Zeile)	+ Restriktion: Snakes-Punkte mögen sich senkrecht zur Snakes-Richtung bewegen
Lineare Ersatzsysteme (Diskretisierung mit FDM)	
5-Punkte-Approximation	3-Richtungs-Approximation
$\underline{A}_p \underline{x} = \underline{b}_x, \underline{A}_p \underline{y} = \underline{b}_y, \underline{A}_p$ pentadiagonal	$\underline{A}_T \varphi = \underline{b}_\varphi, \underline{A}_T$ tridiagonal

einschließlich ihrer Steuerparameter *nicht* direkt vergleichbar.

2.3 Filtereigenschaften

Die gefilterte Linie soll der ungefilterten in ihrem Verlauf weitgehend folgen, aber glatter als jene sein. Die Glättung erzielt man mit einer geeigneten äußeren Einwirkung (E_{ext}). Analog zur Approximation von Messwertreihen mit Snakes (BORKOWSKI et al. 1997, BORKOWSKI & MEIER 1999, BORKOWSKI 2004) setze man E_{ext} proportional zu den Residuen zwischen ungefilterten ($x_0, y_0; \varphi_0$) und gefilterten Signalen ($x, y; \varphi$) bzw. ihren Quadraten an (Tab. 2, oben). In den resultierenden EULER-Gleichungen stehen dann die Eingangsgrößen auf der rechten Seite, und man kann die Übertragungs-(Verformungs-)Eigenschaften solcher Systeme untersuchen. Hier beschränken wir uns exemplarisch auf Differentialgleichungen mit konstanten Koeffizienten (Tab. 2, Mitte) und stationäre Filter. Im Allgemeinfall in-stationärer Filter sind die Rechnungen viel aufwändiger (MEIER 2000b, BORKOWSKI & KELLER 2002).

Die Durchlasscharakteristiken (Tab. 2, unten) gewinnt man mithilfe von Pseudo-Differentialoperatoren (TERZOPOULOS 1986, BORKOWSKI & KELLER 2002) oder – gleichwertig – mittels Eingangs-Ausgangs-Analyse (MEIER & KELLER 1990, MEIER 2000a, b). Obwohl in Tab. 2 bei beiden Modellen gleiche Symbole ($a, \beta; \omega$) stehen und die Charakteristiken in Abb. 1 gemeinsam dargestellt sind, sei ausdrücklich bemerkt, dass es sich um *unterschiedliche*, nicht direkt vergleichbare Spektralbereiche handelt.

Glättende Snakes realisieren einen phasen- und maßstabstreuen Tiefpass mit dominierendem Einfluss von β auf großen ω (Feinstrukturen) und liefern immer eine glatte Kurve. Anders ist die Situation bei TAFUS. Der entsprechende Tiefpass ist nicht maßstabstreu: Wegen $G_\varphi(0) < 1$ wird auch im langwelligen Bereich geglättet. Selbst wenn man (heuristisch) die rechte Seite φ_0 mit $(1 + a)$ bewichtet, $G_\varphi(0) = 1$, wird immer noch zu stark geglättet, so dass – wie Experimente zeigten – die Linien völlig verformt und die Ergebnisse unbrauchbar sind. Dieser latenten Instabilität kann man mit einem alternativen Ansatz entgegenwirken.

Tab. 2: Vergleich der Filtereigenschaften zweier Snakes-Modelle mit speziellen Ansätzen für die externe Energie und stationären Eingangsgrößen. Diskussion im Abschnitt 2.3, vgl. auch Abb. 1.

SNAKES		TAFUS	
Externe Energie			
$E_{ext} = \frac{1}{2}(x - x_0)^2$	$\frac{\partial E_{ext}}{\partial x} = x - x_0$	a) $E_{ext} = \frac{1}{2}(\varphi - \varphi_0)^2$	$\frac{\partial E_{ext}}{\partial \varphi} = \varphi - \varphi_0$
(In y analog)		b) $E_{ext} = (\varphi_0 - \varphi)\dot{\varphi}_0$	$\frac{\partial E_{ext}}{\partial \varphi} = -\dot{\varphi}_0$
EULER-Gleichungen (konstante a, β)			
$x - a\ddot{x} + \beta x^{IV} = x_0$	a)	$(1 + a)\varphi - \beta\ddot{\varphi} = \varphi_0$	
(In y analog)	b)	$a\varphi - \beta\ddot{\varphi} = \dot{\varphi}_0$	
Durchlasscharakteristiken			
$G_{x,y}(\omega) = \frac{1}{1 + a\omega^2 + \beta\omega^4}$	a)	$G_{\varphi}^{TP}(\omega) = \frac{1}{(1 + a) + \beta\omega^2}$,	
$G_{x,y}(0) = 1$		$G_{\varphi}(0) = 1/(1 + a) < 1$	
mit $j^2 = -1 \mapsto$	b)	$G_{\varphi}^{BP}(j\omega) = \frac{j\omega}{a + \beta\omega^2}, G_{\varphi}(0) = 0$	

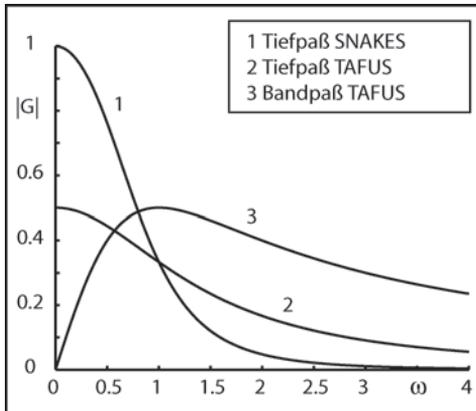


Abb. 1: Durchlasscharakteristiken aus Tab. 2 mit $\alpha = \beta = 1$. Diskussion in Abschnitt 2.3.

Man setze E_{ext} gleich den mit der Eingangskrümmung $\dot{\varphi}_0$ bewichteten Residuen der Richtungen an, d. h. große Krümmungen – große äußere Einwirkungen – starke Glättung und umgekehrt. In der EULER-Gleichung steht nun rechts $\dot{\varphi}_0$ anstelle φ_0 , dem Tiefpass ist ein Hochpass nachgeschaltet, sodass insgesamt ein Bandpass mit Phasenverschiebung $\pi/2$ entsteht. Brauchbar ist ein solcher Ansatz nur dann, wenn man im

kurzwelligen Bereich (schwach) glätten möchte und im iterativen Algorithmus eine geeignete Abbruchschranke vorsieht (vgl. Abschnitt 3.2). Man bleibt – bildlich gesprochen – rechts des Maximums von $|G_{\varphi}(j\omega)|$, Kurve (3) in Abb. 1, und die Phasenverschiebung $\pi/2$ ist kaum wirksam.

3 Glättungsalgorithmen

3.1 Iterationsvorschriften

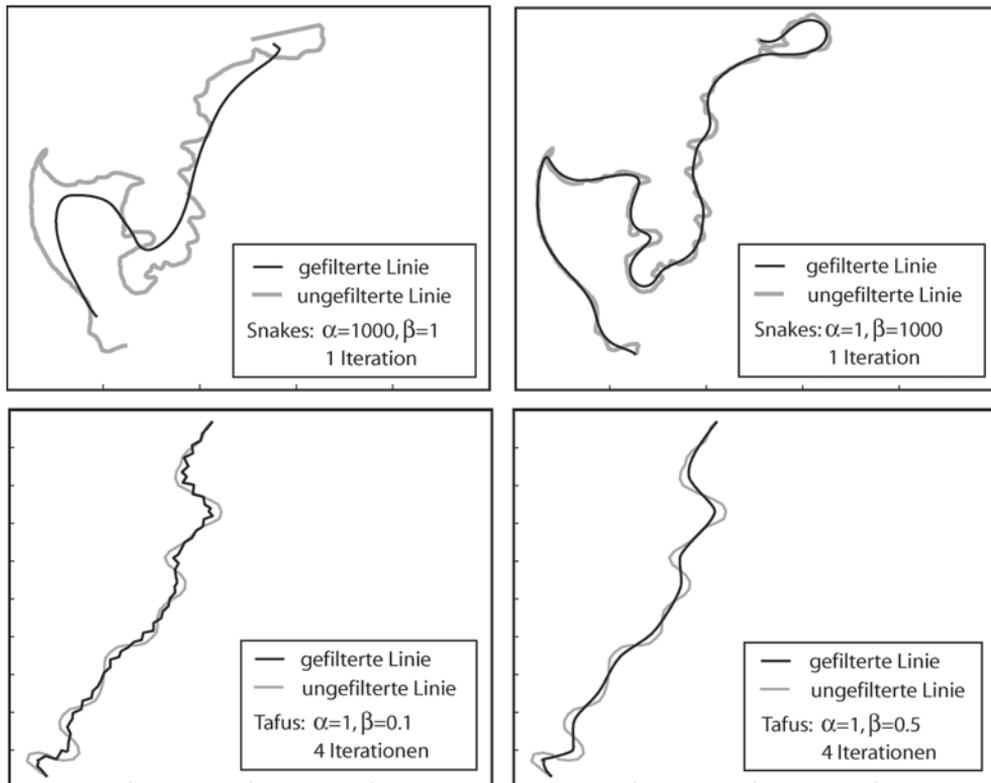
Die linearen Ersatzsysteme (Tab. 1, unten) sind bekanntermaßen schlecht konditioniert. Man iteriert deshalb seit KASS et al. (1987) in allen Snakes-Anwendungen mit regularisierten Matrizen $B_p := A_p + \lambda I$ und $B_T := A_T + \lambda I$. Daran haben auch die TAFUS mit tridiagonaler, deutlich besser konditionierter Matrix A_T gegenüber der pentadiagonalen A_p (BORKOWSKI et al. 1999) nichts geändert.

Bei Snakes bieten sich zwei Möglichkeiten an:

- (1) Berechnung der Koordinaten x^t, y^t im Schritt t aus den vorhergehenden x^{t-1}, y^{t-1} und den Ableitungen E_x^{t-1}, E_y^{t-1} von E_{ext} aus dem vorhergehenden Schritt $t - 1$.

Tab. 3: Iterationsvorschriften zur Lösung diskretisierter EULER-Gleichungen zweier Snakes-Modelle bezüglich Glättung. Erläuterungen im Abschnitt 3.1

SNAKES	TAFUS
$\underline{x}^t = \lambda \underline{B}_p^{-1} \underline{x}^{t-1}$ $\underline{B}_p := \underline{A}_p + \lambda \underline{I}$ (In \underline{y} analog) (BURGHARDT 2002)	$\underline{\varphi}^t = \underline{\varphi}^{t-1} + \underline{B}_T^{-1} \Delta \underline{\varphi}^{t-1}$ $\underline{B}_T := \underline{A}_T + \lambda \underline{I}$ (BORKOWSKI et al. 1999, STEININGER 2003)

**Abb. 2:** Snakes-Glättung (oben) und Tafus-Glättung (unten) mit unterschiedlichen Parametern. Negativbeispiele links, akzeptable Ergebnisse rechts. Diskussion im Abschnitt 3.3.

(2) Diskretisiert man die *spezielle* EULER-Gleichung in Tab. 2 (Mitte, links), so unterscheidet sich die Matrix \underline{A}_p von der herkömmlichen insofern, als alle Elemente der Hauptdiagonalen um den Wert Eins erhöht sind. Es entsteht also die regularisierte Matrix \underline{B}_p mit dem Standardwert $\lambda = 1$ *a priori* (unter (1) erst *a posteriori*), und man iteriert mit den Eingangskordinaten x^{t-1}, y^{t-1} aus dem Schritt $t-1$, vgl. Tab. 3 (oben links).

Diese Vorschrift folgt auch aus einer konstanten äußeren Einwirkung $E_{ext} = const.$ Mit $\partial E_{ext}/\partial x = 0, \partial E_{ext}/\partial y = 0$ werden die EULER-Gleichungen homogen („degenerierte Snakes“). Aus der Lösungsschar wird iterativ mithilfe einer Abbruchschranke (vgl. Abschnitt 3.2) jene gewonnen, die einen gewünschten Glättungsgrad realisiert.

Spätestens an dieser Stelle sieht man, dass es sich um ein Mehrpunktmittel handelt:

Tab. 4: Krümmungsabhängige interne Energie zweier Snakes-Modelle am Elementarbeispiel eines (oberen) Halbkreises mit Bogenlänge s , Radius r und Krümmung $\phi = 1/r$.

Parameterdarstellung	Tangentenwinkelfunktion
$x(s) = r \cos(s/r), y(s) = r \sin(s/r)$ $\dot{x}(s) = -\sin(s/r), \dot{y}(s) = \cos(s/r)$ $\ddot{x}(s) = -\frac{1}{r} \cos\left(\frac{s}{r}\right), \ddot{y}(s) = -\frac{1}{r} \sin\left(\frac{s}{r}\right)$	$\varphi(s) = \frac{s}{r} - \frac{\pi}{2}, s \in (0, \pi r)$ $\dot{\varphi}(s) = \frac{1}{r}, \varphi \in \left(-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right)$
SNAKES	TAFUS
$E_{\text{int}} \sim [a(\dot{x}^2 + \dot{y}^2) + \beta(\ddot{x}^2 + \ddot{y}^2)]$ $= a + \beta/r^2 = a + \beta\dot{\varphi}^2$	$E_{\text{int}} \sim [a\varphi^2 + \beta\dot{\varphi}^2]$ $= [a(s - \pi/2\dot{\varphi})^2 + \beta]\dot{\varphi}^2$

Die neuen Snakes-Koordinaten sind das Produkt einer Zeile aus \mathbf{B}_p^{-1} mit dem Vektor der alten Koordinaten. Es ist zu fragen, warum man Linien mit Snakes glätten sollte, wenn einfachere Glättungsfilter das Gleiche leisten (SCHWARZBACH 1995). Argumente, die für Snakes sprechen, sind die krümmungsabhängige Glättung (Abschnitt 3.3) und die Kombination mit Verdrängungsalgorithmen.

3.2 Abbruchkriterien

Um unterschiedliche Glättungsgrade zu realisieren, braucht man ein Abbruchkriterium im iterativen Algorithmus, beim TAFUS-Bandpass (Tab. 2, Abb. 1) bereits aus filtertechnischen Gründen. Um die Glattheit einer Kurve zu beurteilen bzw. zu messen, gibt es verschiedene qualitativ gleichwertige Größen.

BURGHARDT (2002) beurteilte die Glattheit (zum Zwecke der Segmentierung) nach der Anzahl der Schnittpunkte zwischen der ungefilterten und der gefilterten Kurve je Längeneinheit. Bei PLAZANET et al. (1998) wird die Anzahl der Wendepunkte, bezogen auf die Länge der Linie, verwendet.

In unseren numerischen Tests wurde die Varianz $\sigma_{\Delta\varphi}^2$ der Richtungsänderungen $\Delta\varphi_i := \varphi_{i+1} - \varphi_i$ in Polygon-Snakes als diskretes Pendant zur Krümmung $\dot{\varphi}(s)$ favorisiert. An LO mit Mäandern oder tiefen Ein- und Ausbuchtungen ist $\varphi(s)$ bezüglich der 2. Momente nicht stationär; die φ_i weisen Sprünge auf. In Strenge braucht man robus-

te Varianz-Schätzer. Für unseren Zweck reicht es aus, extreme Werte auszuschließen.

3.3 Steuerparameter

Die Wirkung unterschiedlicher Steuerparameter beim Verdrängen von LO wurde von BADER (2001) ausführlich untersucht: Insgesamt reagieren die LO wenig empfindlich auf Veränderliche a, β . Man muss sich vor Augen halten, dass Feinheiten je nach Darstellungsmaßstab kaum sichtbar sind. Das Gleiche trifft beim Glätten zu, wenn man sich nur vor extremen Werten hütet. Wie sich letztere auswirken können, wird an je einem Beispiel für Snakes und TAFUS gezeigt (Abb. 2).

Setzt man im Snakes-Beispiel $\beta \ll a$ (Abb. 2, oben links), ist der Widerstand gegen Wölbungsänderung zu gering. Bereits nach *einem* Iterationsschritt entsteht eine glatte Kurve, die nicht mehr dem ursprünglichen Verlauf folgt. Dagegen ist für $\beta \gg a$ der Widerstand gegen Wölbungsänderung groß und die geglättete Kurve folgt der ursprünglichen (Abb. 2, oben rechts); hier ist der große Wert von β zulässig. Die Durchlasscharakteristik des Tiefpasses (Abb. 1, Kurve 1) kann zur Erklärung *nicht* dienen, da die ungefilterte Linie bezüglich ihres Verlaufs hochgradig instationär ist. Dagegen kann man am TAFUS-Beispiel mit gleichmäßigem Kurvenanstieg (Abb. 2, unten) die Charakteristik des Bandpasses (Abb. 1, Kurve 3) heranziehen: Im Grenzfall $\beta \rightarrow 0$ wird $|G_\varphi(j\omega)| = \omega/a$, d. h. eine Gerade mit

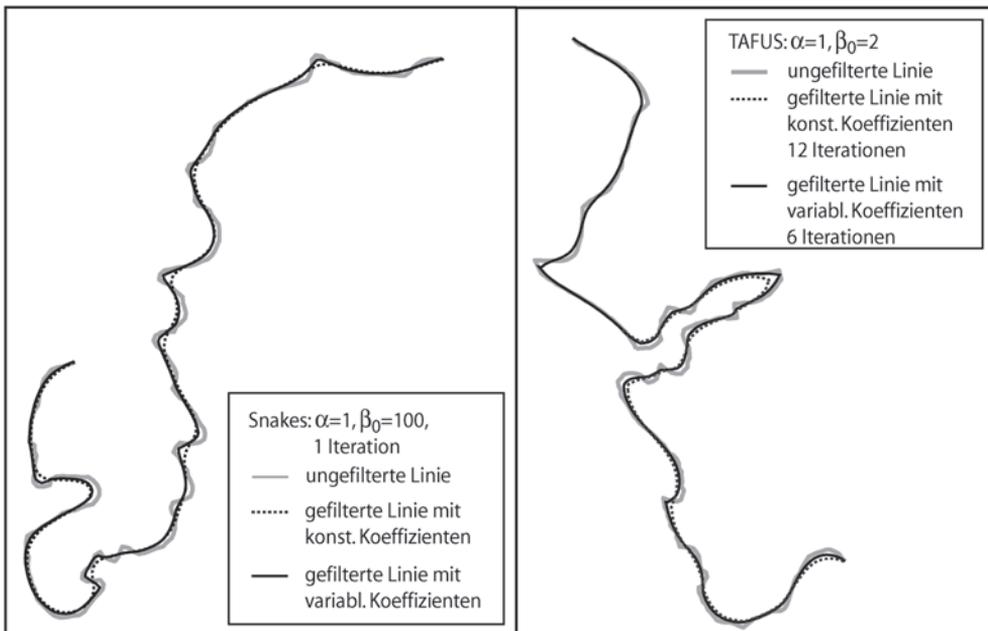


Abb. 3: Snakes-Glättung (links) und TAFUS-Glättung (rechts) mit konstanten und variablen Steuerparametern bzw. Koeffizienten der Systemmatrizen. Diskussion im Abschnitt 3.3.

Anstieg $1/a$, woraus Glättung (Aufrauung) im langwelligen (kurzwelligen) Bereich folgt. Die Defekte sind in Abb. 2 (unten links) gut zu sehen. Sie verschwinden, wenn $\beta/a \geq 1/2$. Jedoch sollte β nicht zu groß sein, sonst können TAFUS leicht instabil werden.

Reale LO weisen häufig stark wechselnde Krümmungen auf (Abb. 2 bis 4), und es liegt nahe, krümmungsabhängig zu glätten. Es gibt verschiedene Möglichkeiten, $a = a(s)$, $\beta = \beta(s)$ ortsabhängig anzusetzen. Eine davon wird erläutert.

Das einfachste Kurven-Modell ist der Halbkreis, parametrisiert nach Koordinaten für die Snakes oder nach der TWF für TAFUS (Tab. 4). Wegen $\dot{\varphi} = const$, jedoch $\varphi = \varphi(s)$ ist $E_{int} = const$ bei Snakes, ortsabhängig bei TAFUS. Daher kann man für Snakes $a = const$, $\beta = \beta_0 \dot{\varphi}_0^2 \mapsto \beta_0 \Delta \varphi_0^2$, und für TAFUS $a = a_0 \varphi_0^2$ und β wie angegeben ansetzen. In numerischen Experimenten hat sich $a = 1, \beta_0 \geq 1$ in beiden Modellen als ausreichend erwiesen.

Im Snakes-Beispiel Abb. 3 (links) wurde mit $\beta_0 \gg a$ bereits in *einem* Rechenschritt

die glatte Kurve erzeugt. Die abschleifende Wirkung mit konstanten a, β ist bei variablem β wenigstens teilweise an starken Ein- und Ausbuchtungen kompensiert. Bei TAFUS (Abb. 3, rechts) darf man aus Stabilitätsgründen β_0 nicht zu groß wählen und nähert sich in kleinen Schritten einer brauchbaren Lösung an.

Insgesamt sind die Ergebnisse mit ortsabhängigem β so überzeugend nicht, dass sie den Mehraufwand, Neuberechnung der Systemmatrizen nach jedem Iterationsschritt, rechtfertigen würde. Als effektiver bezüglich Formerhaltung und Rechenzeit erweist sich die Segmentierung.

3.4 Segmentierung und Skalierung

Natürliche, aber auch künstliche LO besitzen häufig Nichtdifferenzierbarkeitsstellen oder Zwangspunkte, die erhalten bleiben müssen (vgl. Abb. 3, rechts und Abb. 4). Als Alternative zur ortsabhängigen Steuerung bietet sich die Zerlegung der Kurve in Teilstücke in diesen Punkten an. Zur Segmen-

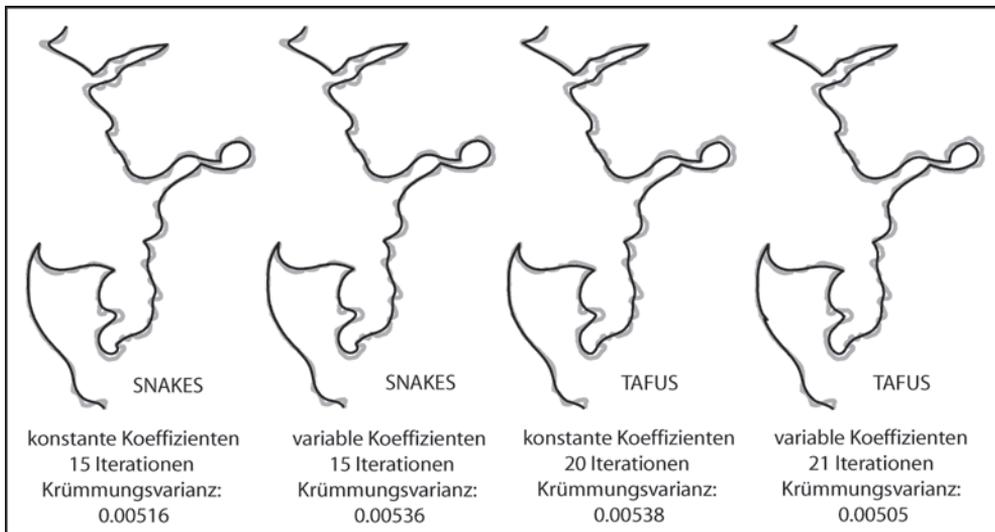


Abb. 4: Vergleich der Glättungsverfahren am Beispiel *Louisiana's Gulf Coast* (dünn hinterlegt) mit konstanten ($\alpha = \beta = 1$) und variablen Steuerparametern ($\alpha = \beta_0 = 1$) bzw. Koeffizienten der Systemmatrizen sowie automatischer Segmentierung. Diskussion in Abschnitt 3.4.

tierung braucht man geeignete Kriterien, z. B. soll P_i ein Teilungspunkt sein, wenn $|\Delta\varphi_i| \geq \pi/2$ in P_i bei Kurven mit Knickpunkten oder $|\Delta\varphi_i| \geq \pi/3$ an stetig differenzierbaren Kurven mit lokal großen Krümmungen. Um im letztgenannten Fall den glatten Übergang von Segment zu Segment sicherzustellen – filtertechnisch gesprochen: Randdefekte auszuschließen –, empfiehlt es sich, ggf. einige Punkte in Randnähe im Teilungspunkt zu spiegeln.

Die Segmente werden getrennt bearbeitet, d. h. jeweils mehrere kleine Systeme anstelle eines großen gelöst. Diese Prozedur erhält nicht nur typische Formen (selbst mit konstanten a, β) sondern ist auch numerisch schneller: Die Rechenzeit geht teilweise bis auf 20 Prozent zurück und bringt uns dem Ziel der Echtzeitlösung nahe.

Im Beispiel Abb. 4, Glättung einer Küstenlinie mit beiden Modellen sowie mit konstanten und variablen Steuerparametern, erkennt man kaum Qualitätsunterschiede. Außerdem sind die Parameter $a = \beta = 1$ bzw. $a = \beta_0 = 1$ völlig ausreichend. Ohne Not sollte man von diesen Werten nicht abweichen, denn sie sind auch beim Verdrän-

gen von LO Standard und erleichtern es, beide Operationen effektiv zu kombinieren.

Die diskreten Filterkoeffizienten skalieren man zweckmäßig so, dass ihre Summe Eins ergibt. Dann ist der Snakes-Tiefpass mit $G_{x,y}(0) = 1$ maßstabstreu, d. h. lange Wellen (Großformen) bleiben erhalten.

Bleibt nur noch, die Robustheit der Algorithmen bezüglich des Stützpunktabstandes zu betrachten. Die konventionellen Snakes-Lösungen sind beim Verdrängen und Glätten mit nicht-äquidistanten Daten stabil. TAFUS reagieren empfindlicher. Zu ihrer Stabilisierung kann man gleichabständige Punkte interpolieren (BORKOWSKI & MEIER 2001) oder – als einfache Alternative – sehr dicht liegende Punkte löschen (STEINIGER 2003).

4 Hauptergebnisse und Schlussfolgerungen

Die Linienglättung ist mit verschiedenen Verfahren möglich. Gute kartographische Qualität gewährleisten z. B. formtreue Glättungsfilter (SCHWARZBACH 1995). Im Hin-

blick auf kombinierte Glättungs-Verdrängungs-Operationen in einem einheitlichen Konzept bzw. kartographischer Software mit klarer Struktur bevorzugen wir Snakes-Lösungen: Ihre ortsunabhängige Steuerung (mit Standardwerten der Parameter $\alpha = \beta = 1$) entsprechen einem reinen, die ortsabhängige Steuerung (speziell mit krümmungsabhängigem β) einem formtreuen Glättungfilter. Indessen lohnt letztere nur an stetig differenzierbaren Kurven. An solchen mit Knickstellen erweist sich die Segmentierung nach Krümmungskriterien sowohl bezüglich der Qualität als auch der Rechenzeit als sehr vorteilhaft. Die TAFUS-Lösungen sind nur mit stabilisierenden Maßnahmen den Snakes-Lösungen ebenbürtig. Sie bringen (trotz tridiagonaler Systemmatrix) wegen notwendiger Vor- und Nacharbeiten nicht die erhofften Rechen-vorteile.

Die Glättungsalgorithmen sind gründlich erprobt, sodass ihrer Aufnahme in kommerzielle Software nichts im Wege steht. Das Gleiche darf man, nach bisherigen Tests zu urteilen, auch für kombinierte Glättungs-Verdrängungs-Operationen erhoffen. Aus Platzgründen müssen diese einer gesonderten Arbeit vorbehalten bleiben.

Dank

Es ist den Verfassern eine angenehme Pflicht, den Herren Dr.-Ing. A. BORKOWSKI, Wrocław, und Dr.-Ing. D. BURGHARDT, Zürich, für ihr stetes Interesse am Fortgang der Arbeiten, die hilfreichen Vorschläge zur Verfahrensausgestaltung samt Teststrategien, schließlich für die kritische Durchsicht der Manuskriptentwürfe herzlich zu danken.

Literatur

- BABAUD, J., WITKIN, A.P., BAUDIN, M. & DUDA, R.O., 1986: Uniqueness of the Gaussian Kernel for Scale-Space Filtering. – *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence* **8** (1): 26–33.
- BADER, M., 2001: Energy Minimization Methods for Feature Displacement in Map Generalization. – Ph.D. thesis, Dept. of Geogr., Univ. of Zürich.
- BORKOWSKI, A., 2004: Modellierung von Oberflächen mit Diskontinuitäten. – *Deutsche Geodätische Kommission, R.C. H. 575*, München.
- BORKOWSKI, A., BURGHARDT, D. & MEIER, S., 1997: Zur optimalen Approximation von Höhenprofilen. – *Österr. Z. Verm. & Geoinf.* **85**: 281–285.
- BORKOWSKI, A., BURGHARDT, D. & MEIER, S., 1999: A fast snakes algorithm using the tangent angle function. – *IAPRS*, Vol. 32, Part 3–2W5: 61–65.
- BORKOWSKI, A. & KELLER, W., 2002: Von stationären und instationären Filtern. – In: *Festschrift zum 65. Geburtstag von Prof. Dr.-Ing. habil. SIEGFRIED MEIER*. – TU Dresden, Inst. f. Planetare Geodäsie, 53–65.
- BORKOWSKI, A. & MEIER, S., 1999: Versuche zur robusten Snakes-Approximation von Höhenprofilen mit Diskontinuitäten. – *Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation* **1999**: 381–390.
- BORKOWSKI, A. & MEIER, S., 2001: Robustification of the Tangent Angle Function Snakes. – *Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation* **2001**: 129–135.
- BURGHARDT, D., 2001: Automatisierung der kartographischen Verdrängung mittels Energieminimierung. – *Deutsche Geodätische Kommission, R.C. H. 536*, München.
- BURGHARDT, D., 2002: Glättung mit Snakes. – In: *Festschrift zum 65. Geburtstag von Prof. Dr.-Ing. habil. SIEGFRIED MEIER*. – pp. 67–70, TU Dresden, Inst. f. Planetare Geodäsie.
- BURGHARDT, D. & MEIER, S., 1997: Cartographic displacement using the snakes concept. – In: FÖRSTNER, W. & PLÜMER, L. (eds.): *Semantic Modeling for the Acquisition of Topographic Information from Images and Maps*. – pp. 59–71, Birkhäuser Verlag, Basel.
- KASS, M., WITKIN, A. & TERZOPOULOS, D., 1987: Snakes: Active contour models. – *Internat. J. Comp. Vision* **1** (4): 321–331.
- MCMASTER, R.B., 1989: The integration of simplification and smoothing algorithms in line generalization. – *Cartographica* **24** (2): 74–111.
- MEIER, S., 2000a: Die Snakes-Approximation als Hilfsmittel der Geodatenverarbeitung. – *Allg. Verm. Nachr.* **2**: 50–57.
- MEIER, S., 2000b: Zur Qualität snakes-approximierter Höhenprofile mit Diskontinuitäten. – *Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation* **2000**: 399–409.
- MEIER, S. & BURGHARDT, D., 1997: Kartographische Verdrängung nach Extremalprinzipien. – *Z. f. Vermessungswesen* **122** (8): 377–386.

- MEIER, S., 2001: Generalisieren nach physikalischen Prinzipien. – Kartogr. Bausteine **19**: 52–57.
- MEIER, S. & KELLER, W., 1990: Geostatistik. Einführung in die Theorie der Zufallsprozesse. – Akademie-Verlag, Berlin, Springer-Verlag, Wien.
- PLAZANET, C., BIGOLIN, N. M. & RUAS, A., 1998: Experiments with Learning Techniques for Spatial Model Enrichment and Line Generalization. – GeoInformatica **2** (4): 315–333.
- SCHWARZBACH, F., 1995: Untersuchungen zur rechnergestützten Linienglättung. – Kartogr. Bausteine **10**.
- STEINIGER, ST., 2003: Vergleichende Untersuchungen zur Linienglättung mit Snakes und Wavelets. – Diplomarbeit, TU Dresden.
- TERZOPOULOS, D., 1986: Regularisation of inverse visual problems involving discontinuities. – IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. PAMI-**8** (4): 413–423.
- Anschriften der Verfasser:
- Prof. Dr.-Ing. habil. SIEGFRIED MEIER
Technische Universität Dresden
Institut für Planetare Geodäsie
D-01062 Dresden
Tel.: +49-351-463-33416
Fax: +49-351-463-37063
e-mail: meier@ipg.geo.tu-dresden.de
- Dipl.-Ing. STEFAN STEINIGER
Universität Zürich-Irchel
Geographisches Institut
CH-8057 Zürich
Tel.: +41-1-6355252
Fax.: +41-1-6356848
e-mail: sstein@geo.unizh.ch
- Manuskript eingereicht: Juli 2004
Angenommen: Januar 2005

Risikokarte Deutschland – Methoden und Werkzeuge zur Datenbereitstellung

PETRA KÖHLER, Potsdam, CHRISTIANE LECHTENBÖRGER, Karlsruhe & MATTHIAS MÜLLER, Potsdam

Keywords: Remote Sensing, CEDIM, Risk Map, Internet Map Server, GIS-Server

Zusammenfassung: Ziel des Projekts „Risikokarte Deutschland“ im Center for Disaster Management and Risk Reduction Technology (CEDIM) ist die interdisziplinäre und harmonisierte Abschätzung und Darstellung von Risiken durch verschiedene Natur- und anthropogene Katastrophen. In dem Beitrag werden Lösungen zur Bereitstellung von Ausgangsdaten für die wissenschaftliche Methodenentwicklung sowie von Forschungsergebnissen für die Öffentlichkeit beschrieben. Sie basieren auf dem Einsatz von Datenbanken, GIS und Web Services und sind eingebunden in eine übergreifende Informationsinfrastruktur.

Summary: *Risk Map Germany – Methods and Tools for Data Dissemination.* The project „Risk Map Germany“ of the Center for Disaster Management and Risk Reduction Technology (CEDIM) aims at the interdisciplinary and harmonised estimation and visualisation of risks due to natural and man-made disasters. The paper describes solutions for the dissemination of base data for research as well as of scientific results for the public. They are basing on the usage of databases, GIS and web service and are embedded in a comprehensive information infrastructure.

1 Einführung

1.1 *Das Center for Disaster Management and Risk Reduction Technology*

Bereits im vergangenen Jahr wurde an dieser Stelle ein Übersichtsartikel zu den geplanten Arbeiten des Center for Disaster Management and Risk Reduction Technology (CEDIM) veröffentlicht (KÖHLER & LECHTENBÖRGER 2004). Innerhalb des CEDIM, das Ende 2002 vom GeoForschungsZentrum Potsdam (GFZ) und der Universität Karlsruhe (TH) gegründet wurde, arbeiten mittlerweile circa 50 Wissenschaftler aus unterschiedlichsten Disziplinen, wie Ingenieur-, Wirtschaftswissenschaften, Meteorologie, Hydrologie, Geophysik, Risikoanalyse und Geoinformatik an drei Projekten.

Neben dem Pilotprojekt „Risikokarte Deutschland“ erarbeitet die Nachwuchswis-

senschaftlergruppe „Informations- und Modellierungssysteme für das Management von großräumigen Hochwassersituationen“ entsprechende Komponenten für das Hochwassermanagement vor Ort im Ereignisfall in der Beispielregion Elbe. Die Implementierung und Kopplung von hydrologischen und hydraulischen Modellen unterschiedlicher Komplexitätsstufen steht dabei im Vordergrund.

Im Projekt „Megacities“ befasst sich eine weitere Wissenschaftlergruppe mit Istanbul als einer durch äußerst starkes Wachstum in der Bevölkerungsentwicklung und dem Aufbau bzw. der Erweiterung ihrer Infrastruktur gekennzeichneten Stadt. Sie steht damit beispielhaft für einen höchst vulnerablen Raum gegenüber Naturkatastrophen, hier: insbesondere Erdbeben. Folgende Fragestellungen werden untersucht:

- Erdbebengefährdung
- Mikrozonierung

- Fragilität und Risiko
- Indirekte Schäden

1.2 *Projekt Risikokarte Deutschland – Stand und Perspektiven*

Im Rahmen des Pilotprojekts Risikokarte Deutschland werden in den Teilprojekten Erdbeben-, Sturm-, Hochwasserrisiko, Risiken für Infrastrukturen und Man-Made Hazards bestehende Ansätze der Risikoabschätzung geprüft, modifiziert und neue Ansätze entwickelt. Die Arbeiten beziehen sich exemplarisch auf Regionen in Baden-Württemberg und werden schließlich auf Deutschland übertragen.

Zwei Schwerpunkte werden dabei bearbeitet: Zum einen werden Methoden zur Abschätzung möglicher finanzieller Schäden infolge eines katastrophalen Ereignisses entwickelt. Dies wird zunächst disziplinspezifisch bzw. katastrophenspezifisch durchgeführt. Zum anderen ist es Ziel der Arbeiten, die Verfahren zu harmonisieren und die Resultate über die verschiedenen Teilprojekte hinweg vergleichbar zu gestalten.

Zur Zusammenführung und Integration der Ergebnisse wurden drei horizontale Arbeitsgruppen zu den Themen „Werteabschätzung“, „Vergleichbarkeit von Risiken“ und „Risikokartierung“ gebildet:

Die erste Gruppe entwickelt derzeit einen Ansatz für belastbare Sachschadensabschätzungen in einem Katastrophenfall. Hierzu wird regionenspezifisch (auf Postleitzahl- bzw. Gemeindeebene) eine für alle Teilprojekte einheitliche Wertebasis – zunächst für private Wohngebäude – geschaffen und allen fachspezifischen Teilprojekten zur Verfügung gestellt (KLEIST et al. 2004). Grundlage der methodischen Arbeiten sind Landnutzungsdaten, Informationen über Anzahl und Verteilung von Haushalten, über die Wiederherstellungskosten von Gebäuden und über Hausratsversicherungen etc.

Die Arbeitsgruppe zur Vergleichbarkeit von Risiken erarbeitet demgegenüber einen Ansatz zur vergleichbaren Aufbereitung von Risiken infolge der verschiedenen betrachteten Katastrophentypen für den

Nutzer. Durch die Darstellung von Relationen können sonst isoliert betrachtete Risiken besser verstanden und ebenfalls kumulierte Risiken (z. B. durch Sturm UND Hochwasser) besser eingeschätzt werden.

Um dem Anspruch der fachgerechten und vergleichbaren Risikokartierung gerecht zu werden, entwirft die entsprechende Arbeitsgruppe einheitliche Vorgehensweisen zur Visualisierung der Risikowerte und Herstellung von Risikokarten. Die Konzeption basiert auf anerkannten kartographischen Verfahren und umfasst darüber hinaus die Kartenproduktion mittels GIS und deren Bereitstellung über eine mögliche technologische Lösung (vgl. Kapitel 3).

Auch international befassen sich Institutionen und Projekte mit der Abschätzung von Risiken durch Katastrophenereignisse. Ein Beispiel bilden die Arbeiten der Schweiz, wo mit den Studien KATANOS und KATARISK (BZS 1995, 2003) mögliche finanzielle Schäden durch extreme Naturereignisse mit katastrophalen Auswirkungen auf lokaler, regionaler, kantonaler und nationaler Ebene abgeschätzt worden sind. Die Studien wurden aus dem Blickwinkel des Zivilschutzes erarbeitet und liefern Informationen für eine bessere Risiko-orientierte Katastrophen- und Notfallplanung.

Ein disziplinübergreifender, harmonisierter und großräumiger Ansatz wie der des CEDIM wird jedoch selten verfolgt, stattdessen beschränken sich die Arbeiten meist auf die Betrachtung einzelner Risiken und auf kleinräumige Gebiete. Die Potentiale des Projekts Risikokarte Deutschland für die effektive Katastrophenvorsorge liegen damit insbesondere in der Harmonisierung der katastrophenspezifischen Forschungsansätze, in der Schaffung einer gemeinsamen Wertegrundlage für Risikoabschätzungen, basierend auf einer einheitlichen und belastbaren Datenbasis (vgl. Kapitel 2), und in der einheitlichen und vergleichbaren Darstellung und Vermittlung von Risikoinformationen.

2 Projektinternes Datenmanagement

2.1 Aufbau einer integrierten Datenbasis

Die vergleichende Bewertung von Risiken durch Natur- und anthropogene Katastrophen in einem gemeinsamen Raumausschnitt erfordert eine gemeinsame und einheitliche Datengrundlage für alle Teilprojekte und Arbeitsgruppen. Dies betrifft zum einen das inhaltliche Datenangebot, den Raumausschnitt und die flächenhafte Abdeckung und zum anderen die Homogenität im Hinblick auf Raumbezug, Auflösung und Aktualität. Die Datenbasis für das Projekt Risikokarte Deutschland umfasst zunächst Referenzdaten wie ATKIS-Daten, Digitale Höhen- und Geländemodelle in verschiedenen Genauigkeitsstufen und Einzeldatensätze zu Verkehrs- und Gewässerlinien. Darüber hinaus stehen vielfältige thematische bzw. statistische Daten zur Verfügung wie Landbedeckung, Einwohnerzahlen und -verteilung, Gebäudecharakteristika, Kaufkraft etc.

Der komplexe Datenbestand entstammt verschiedenen Quellen und unterliegt damit wesentlichen Einschränkungen bei der Integration und gemeinsamen Nutzung. So bedarf es aufwendiger Aufbereitungs- und Harmonisierungsschritte, um tatsächlich eine homogene und geeignete Datenbasis zu erreichen. Sie umfassen insbesondere Anpassungen im Hinblick auf den Raumbezug, die Geometrien, zugehörige Attributdaten, Datenformate etc. und wurden zentral im Teilprojekt „GIS und Datenmanagement“ vorgenommen.

2.2 Datenbereitstellung über das „CEDIM Data Center“

2.2.1 Systemarchitektur

Die verfügbaren Daten müssen für alle Wissenschaftler gleichermaßen bereitgestellt werden, um die einheitliche Bewertung der Risiken in den unterschiedlichen Teilprojekten und Arbeitsgruppen zu gewährleisten.

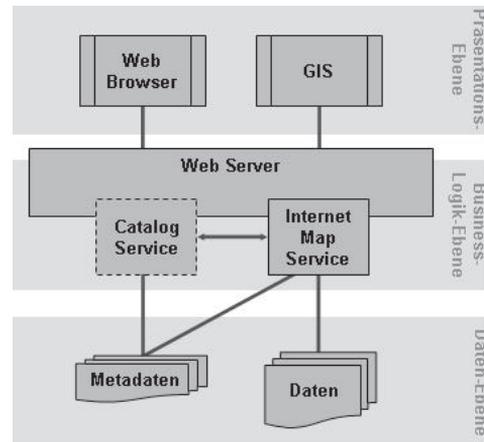


Abb. 1: Systemarchitektur des CEDIM Data Center (verändert nach SANDERS 2004).

Die Vermittlung sollte dabei über einen zentralen und internetbasierten Dienst erfolgen und nur einen abgeschlossenen Nutzerkreis bedienen.

Das Angebot eines Internet Map Service (IMS) zur kartenbasierten Darstellung der Daten via WWW schien zur Umsetzung eines solchen Geodatendienstes geeignet. Nach einem eingehenden Vergleich verschiedener Produkte erfolgte die Realisierung schließlich auf Grundlage des ArcIMS der Firma ESRI (SANDERS 2004). Abb. 1 zeigt die Systemarchitektur des „CEDIM Data Center“.

Der ArcIMS bildet den zentralen Baustein der Client-/Server-Anwendung. Ein Standard-Web Browser dient als Client und übermittelt eine Anfrage an den Map Service. Dieser greift auf die Datenbasis zu, die Kartendarstellung wird serverseitig generiert und als Rasterbild im PNG-Format über die Servlet Engine/Web Server-Kombination an den Client übertragen (sog. Image Service). Alternativ ist es möglich, sich aus einer lokalen ArcGIS-Installation heraus mit dem Service zu verbinden und sich die Daten in der eigenen Anwendung anzeigen zu lassen. Eine lokale Speicherung ist dabei nicht erforderlich, sondern erfolgt lediglich bei Bedarf seitens des Nutzers.

Mittels Metadaten werden die einzelnen Datensätze dokumentiert. Diese werden ge-

mäß dem internationalen Standard „ISO 19115 – Geographic information: Metadata“ erfasst und im XML-Format (eXtensible Markup Language) vorgehalten. Die Anbindung eines Web Catalog Service nach Spezifikation des Open Geospatial Consortiums (OGC) zur benutzerdefinierten Recherche nach verfügbaren Daten ist mittelfristig vorgesehen.

Die Verwaltung der bereitzustellenden Daten und Metadaten im Dateisystem wurde der Umsetzung auf Basis einer Datenbank vorgezogen. Ausschlaggebende Gründe waren zum einen der Bedarf einer zügigen Umsetzung der Datenbereitstellung als Grundlage für die wissenschaftlichen Arbeiten sowie die anfangs geringe Datenmenge. Zum anderen bestand der Wunsch der Beteiligten nach lokaler Nutzung der Daten und kein Bedarf eines Mehrbenutzer-Zugriffs auf die Ausgangsdaten. Mittelfristig wird jedoch die Organisation der Daten über eine geeignete Datenbank angestrebt (vgl. Kapitel 3.2).

Der Geodatenservice in seiner finalen Version basiert auf den Komponenten ArcIMS 9.0, einem Apache-Web Server in der Version 2.0.53 und einer Tomcat Servlet Engine in der Version 5.0.28. Zugrunde liegendes Betriebssystem ist Unix.

2.2.2 Funktionalitäten

Über einfache Visualisierungsfunktionalitäten bietet das CEDIM Data Center den zentralen Einstieg in die gemeinsame Datenbasis. Die Benutzeroberfläche zeigt ein Kartenfenster und eine kleine Übersichtskarte zur allgemeinen Orientierung, einen Index zur Navigation im Datenangebot und eine Werkzeugleiste zur Auswahl von Funktionalitäten wie Vergrößern/Verkleinern und Verschieben des Kartenbildes sowie der Durchführung einfacher Attributabfragen.

Über den Index in Form eines Dateibaumes kann die Darstellung eines oder mehrerer Layer ein- bzw. ausgeblendet werden. Zusätzliche Info-Buttons ermöglichen den

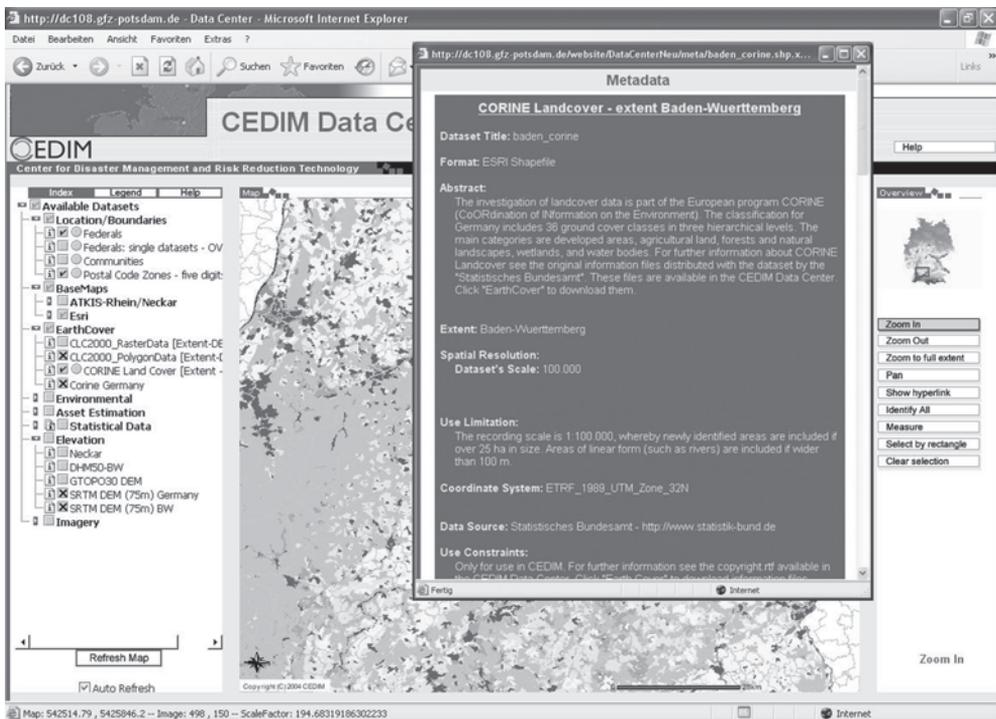


Abb. 2: Der Abruf von Metadaten im CEDIM Data Center (screenshot).

Abruf der zugehörigen Metadaten (Abb. 2), welche u. a. Angaben zum Erzeuger der Daten, zum Inhalt, zu Aktualität und Genauigkeit sowie zu den Nutzungsbedingungen umfassen. Über ein Stylesheet werden die XML-Dateien in eine anwenderfreundliche HTML-Darstellung transformiert.

Die Visualisierung verfügbarer Daten mittels Kartendarstellung und deren Dokumentation über Metadaten ermöglichen dem Wissenschaftler so den Einblick in die Datenbasis und die Bewertung der Eignung der Daten für dessen jeweilige Aufgabe im Kontext der gemeinsamen Erarbeitung der Risikokarte Deutschland. Der Export geeigneter Daten erfolgt aus dem System heraus und ermöglicht schließlich die lokale Weiterverwendung und -verarbeitung.

3 Konzeption der Ergebnispräsentation für die Öffentlichkeit: Internetbasierte Bereitstellung von Risikokarten

3.1 Vorüberlegungen

Die weiteren Planungen des Projektes Risikokarte Deutschland sehen vor, die Ergebnisse der Arbeitsgruppen in Form eines „Risikoatlas“ der Öffentlichkeit zur Verfügung zu stellen. Mögliche Bedarfsträger von Verfahren zur Risikoabschätzung und von Informationsprodukten wie Gefährdungs- und Risikokarten sind Versicherer und Rückversicherer, Behörden aus dem Bereich der Planung, Notfall- und Katastrophenmanagement, Forschung sowie der interessierte Bürger. Auch im Zuge der Ergebnispräsentation soll die Bereitstellung über einen Internetdienst erfolgen, um ortsunabhängig und aktuell zugänglich zu sein. Die Entwicklung des CEDIM Data Center soll in den Aufbau eines entsprechenden Informations- und Präsentationsangebots einfließen und eine Komponente der Gesamtlösung bilden.

Aus der Sicht des Nutzers ist der geplante digitale Risikoatlas ein herkömmliches kartentabasiertes Auskunftssystem, das mit einfachen Funktionalitäten wie dem Ein- und Ausblenden von Kartenlayern, dem Vergrö-

ßern, Verkleinern und Verschieben zur Informationsgewinnung beiträgt. Betrachtet man die Anforderungen aus Sicht des Projekts im Hinblick auf Datenhaltung und -aktualisierung sowie Performanz des Dienstes, scheint es sinnvoll, ein ganzheitliches System zu konzipieren, das diese Aspekte und daraus resultierende Komponenten mit berücksichtigt.

Dies führt zu wesentlich komplexeren Anforderungen, als es beim Aufbau des CEDIM Data Center der Fall war. Während die verfügbaren Ausgangsdaten des Projekts zentral und in einem Dateisystem vorliegen, werden die in den Arbeitsgruppen erzeugten Ergebnisse bislang jeweils lokal vorgehalten. Zwar sollen die entstehenden digitalen Karten zentral über den Risikoatlas bereitgestellt werden, dennoch soll die Möglichkeit gewahrt bleiben, dass der einzelne Fachwissenschaftler die zugrunde liegenden Daten eigenverantwortlich verändern und damit auch das Informationsprodukt beispielsweise ergänzen oder aktualisieren kann. Darüber hinaus soll es den Wissenschaftlern erlaubt sein, kartographische Gestaltungen wie Farbgebungen beispielsweise durch geeignete Klassenbildungen bei Choroplethendarstellungen, aber auch Symbole etc. mit Änderung der Datengrundlage anpassen zu können.

3.2 Entwurf und Architektur des digitalen Risikoatlas

Aus den Vorüberlegungen und den Rahmenbedingungen der vorhandenen IT-Infrastruktur folgt die Konzeption des Risikoatlas, dessen Komponenten in Abb.3 dargestellt sind. Während die Anwendung des Internet Map Service unter Nutzung der im Dateisystem vorliegenden Ausgangsdaten für das Projekt bereits existiert, sind weitere Komponenten der Daten- und Business-Logik-Ebene Bestandteile von zwei Ausbaustufen des zukünftigen Risikoatlas.

In der ersten Realisierungsphase erfolgt eine Migration der Daten aus dem Dateisystem in eine relationale Datenbank, die über ein Gateway an die bestehende Map Server-Anwendung angebunden wird. Vorteile

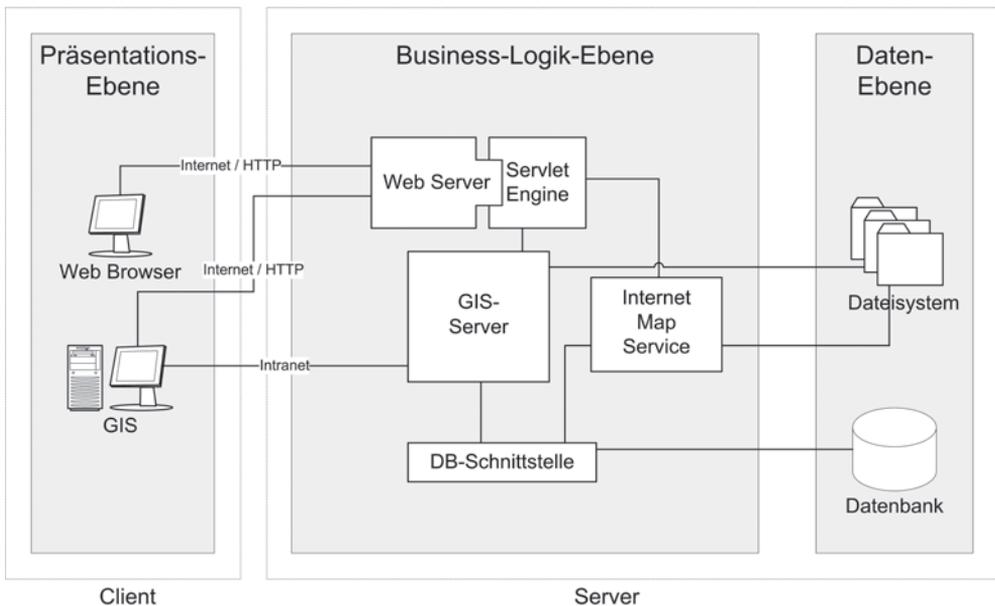


Abb. 3: Architektur des digitalen Risikoatlas.

durch den Einsatz einer Datenbank sind im Wesentlichen

- die homogene, konsistente und redundanzfreie Datenhaltung,
- der Gewinn an Performanz,
- die Möglichkeit der flexiblen Änderung/Aktualisierung der Inputdaten zur Kartengenerierung,
- die Möglichkeit der dynamischen Kartengenerierung und der
- Mehrbenutzer-Zugriff mit flexiblen und sicheren Zugriffsberechtigungen.

Das Angebot von Funktionalitäten eines GIS zum Editieren bestehender und Hinzufügen neuer Daten sowie zu deren Aufbereitung als Grundlage für die Kartenproduktion bezieht der Wissenschaftler nach wie vor über die lokale Installation eines solchen Werkzeugs. Durch den Einsatz einer zentralen Datenbank mit geeigneter Schnittstelle können Datenverwaltung und -zugriff im Sinne einer zentralen Lösung jedoch wesentlich erleichtert werden.

In einer zweiten Ausbaustufe wird darüber hinaus ein GIS-Server integriert, der damit zum zentralen Bestandteil des Ge-

samtsystems wird. Über ihn können innerhalb des Projekts spezifizierte und an die Aufgabenstellungen angepasste Funktionalitäten zentral und serverseitig angeboten werden. Mit einem gängigen Browser und einer Internetverbindung via HTTP können diese aufgerufen und genutzt werden, wodurch sich die lokale Installation einer GIS-Software für den Nutzer erübrigt. Alternativ ist eine Integration der Anwendung in das eigene GIS möglich. Die Bereitstellung von Risikokarten und ähnlichen Informationsprodukten für öffentliche Nutzergruppen erfolgt jedoch nach wie vor über den Internet Map Service.

4 Diskussion und Ausblick

Die beschriebenen Lösungen zur projektinternen Dissemination von Ausgangsdaten für die interdisziplinäre wissenschaftliche Methodenentwicklung bzw. zur Präsentation von Risikokarten für die Öffentlichkeit sind Teil einer übergreifenden Informationsinfrastruktur (KÖHLER & LECHTENBÖRGER 2004). Mittels abgestimmter und standardisierter Komponenten bildet diese die

Grundlage sowohl für eine zentrale als auch für eine dezentrale Datenhaltung, -prozessierung und -bereitstellung in Abhängigkeit von Zielgruppe und Anwendungszweck. Die Bedeutung einer gemeinsamen und harmonisierten Datenbasis wird insbesondere an den ersten Ergebnissen der Arbeitsgruppe Werteabschätzung deutlich, welche über die Verknüpfung vielfältiger aufeinander abgestimmter Daten und deren Analyse unter Einsatz von GIS eine einheitliche Bemessungsgrundlage für alle Teilprojekte entwickeln konnte.

Mit dem Einsatz eines GIS-Servers bietet sich im weiteren Verlauf des Projekts die Möglichkeit, verschiedenen Nutzergruppen aus Forschung und Entwicklung, Behörden und Versicherungen sowie dem operationellen Katastrophenmanagement zusätzliche Funktionalitäten und Rechte bei der Betrachtung und Analyse von Risikokarten und ähnlichen Informationsprodukten einzuräumen. So wäre es dem Nutzer beispielsweise möglich, Klassenbildungen bei der Visualisierung oder die Generierung von Puffern um ausgewählte Karteninhalte selbstständig vorzunehmen. Die Erweiterung des Risikoatlas um einen OGC-konformen Web Catalog Service würde darüber hinaus der Unterstützung der anwenderorientierten Datenrecherche, der Transparenz wissenschaftlicher Datenbestände und der Einbindung in eine übergeordnete Geodateninfrastruktur dienen.

Literatur

- Bundesamt für Zivilschutz (BZS), 2003: KATA-RISK – Katastrophen und Notlagen in der Schweiz, eine Risikobeurteilung aus Sicht des Bevölkerungsschutzes, Bern.
- Bundesamt für Zivilschutz (BZS), 1995: KATANOS – Katastrophen und Notlagen in der Schweiz, eine vergleichende Übersicht, Bern.

- KLEIST, L., THIEKEN, A., KÖHLER, P., MÜLLER, M., SEIFERT, I. & WERNER, U., (2004): Estimation of building values as a basis for a comparative risk assessment. – In: MALZAHN, D. & PLAPP, T. (Hrsg.): Disasters and Society – From Hazard Assessment to Risk Reduction. – pp. 115–122, Berlin.
- KÖHLER, P. & LECHTENBÖCKER, C., 2004: GIS und Informations-Management im “Center for Disaster Management and Risk Reduction Technology,“, – Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation **2004** (4): 331–335.
- SANDERS, M., 2004: Webbasierte Bereitstellung raumbezogener Daten für das Katastrophenmanagement – Konzept und Umsetzung des „Data Center“ im Center for Disaster Management and Risk Reduction Technology (CEDIM). – Unveröffentlichte Diplomarbeit.

Anschriften der Autoren:

Dipl.-Geogr. PETRA KÖHLER
GeoForschungsZentrum Potsdam (GFZ)
Daten- und Rechenzentrum
Telegrafenberg, D-14473 Potsdam
Tel.: 0331-288-1694, Fax: 0331-288-1703
p.koehler@gfz-potsdam.de

Dr. rer. nat. CHRISTIANE LECHTENBÖCKER
CEDIM-Geschäftsführung
Universität Karlsruhe (TH)
D-76128 Karlsruhe
Tel.: 0721-608-3887, Fax: 0721-608-2265
lechtenboecker@ifmb.uni-karlsruhe.de

Dipl.-Ing. (FH) MATTHIAS MÜLLER
Center for Disaster Management and Risk
Reduction Technology, c/o GeoForschungs-
Zentrum Potsdam (GFZ), Daten- und Rechen-
zentrum
Telegrafenberg, D-14473 Potsdam
Tel.: 0331-288-1687, Fax: 0331-288-1703
matthias@gfz-potsdam.de

Manuskript eingereicht: April 2005
Angenommen: April 2005

Scannen von Luftbildern nach DIN 18740-2

KLAUS NEUMANN, Aalen

Keywords: Photogrammetry, Scanner, DIN-Norm, Standardization, Aerial Image

Zusammenfassung: Die neue DIN Norm 18740-2 „Anforderungen an das gescannte Luftbild“ dient sowohl dem Auftraggeber, als auch dem Anbieter von Scannen als Dienstleistung zur Spezifikation und Überwachung der Qualität von Scanprojekten. Beim Scannen von Luftbildern ist es wichtig, eine höchstmögliche Qualität zu erzielen, damit der gesamte Informationsgehalt eines Luftbildes erfasst wird und für die weitere Verarbeitung nicht verloren geht.

Im Rahmen der Normenreihen DIN 18740 „Photogrammetrische Produkte“ wurde im Februar 2005 Teil 2 veröffentlicht, der sich schwerpunktmäßig mit Anforderungen an photogrammetrische Scanner, Anforderungen an das gescannte Luftbild und dessen Prüfung und der Spezifikation von Scanprojekten befasst. Großer Wert wurde auf die praktische Anwendbarkeit der Norm gelegt; dabei wird dem Anwender aber Spielraum zur Festlegung der Qualitätsanforderungen und der Projektparameter eingeräumt. Ein Formblatt im Anhang dient zur Spezifikation von Scanprojekten, Beispiele für Prüfberichte und Hinweise zur Prüfung der Scanparameter sind ebenfalls Teil des Anhangs.

Summary: *The new DIN, German Industry Standard 18740-2 „Requirements for scanned aerial photographs“.* This standard can be used by contractors and purchaser to specify and control the quality of scanning projects. For scanning of aerial film it is important to achieve the best possible quality and to collect all information contained in the photograph, otherwise the quality for the following processing steps will be decreased.

Part 2 of DIN 18740 “Photogrammetric Products” which was published in February 2005, deals with demands for photogrammetric scanners, requirements for scanned aerial photographs and specification of scanning projects. Focused on the practical usability the new standard gives the user enough room to define individual quality criteria and project parameter. The attachment contains a form to specify project parameter and examples for project reports.

1 Einleitung

Die digitale Photogrammetrie hat heute in der Praxis, abgesehen vom Bildflug, die analogen bzw. analytischen Methoden nahezu verdrängt. Das Scannen von Luftbildern nimmt dabei einen wichtigen Stellenwert ein, bei dem aber bisher die Frage der Qualitätssicherung nicht einheitlich beantwortet war. Der Anwender sieht sich einer Vielzahl von Fragen ausgesetzt: Welcher Scanner bietet die notwendigen Hardware-Voraussetzungen? Welche Qualitätskriterien werden an ein gescanntes Luftbild gelegt? Was

ist die richtige Vorgehensweise bei der Spezifikation von Scanprojekten? Mit der neuen Norm DIN 18740-2 „Anforderungen an das gescannte Luftbild“ wurde eine praktische Grundlage zur Ausschreibung von Scanprojekten und zur Beurteilung der Qualität von gescannten Luftbildern geschaffen. Das Dokument bietet eine einheitliche Plattform zur Definition der Qualität von gescannten Luftbildern sowohl für Auftragnehmer als auch für Auftraggeber und schafft somit eine klare Regelung, auf die bei Auftragsvergaben Bezug genommen werden kann. Mit der neuen Norm wird auch ein Qualitäts-

standard geschaffen, der Unternehmen hilft, ihre Qualität transparent zu machen und sich so von Billiganbietern mit minderwertiger Qualität zu unterscheiden. Auftraggeber für Scanprojekte werden mithilfe der neuen Norm DIN 18740-2 in die Lage versetzt, die Leistungen von Angeboten zu vergleichen.

2 Fachbegriffe

Um eine einheitliche Sprachregelung zu schaffen, wurde im Abschnitt 3 die Definition der verwendeten Fachbegriffe aufgelistet und, falls notwendig, erläutert. Für Normen ist es notwendig, die Terminologie eindeutig zu definieren, um falsche Interpretationen zu vermeiden. Abgesehen davon ist es aber auch sehr hilfreich für die Anwendung in der Praxis, auf eine Begriffsdefinition zurückgreifen zu können und damit im Zweifel Unstimmigkeiten zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer zu vermeiden.

Begriffe wie „*radiometrische Dynamik*“, „*Farbbalance*“ und „*Pixelabstand*“ sind Anwenden, die Erfahrung mit dem Scannen von Luftbildern haben, geläufig. In der Praxis werden diese Begriffe aber teilweise unterschiedlich interpretiert.

Im Weiteren sind hier einige wichtige Begriffsdefinitionen aufgelistet, die bisher nicht im Rahmen einer bestehenden Norm definiert waren:

- Radiometrische Dynamik: erfasster Grauwertumfang nach der Bildwandlung,
- Farbbalance: Gewichtung der Farbkanäle zueinander,
- Pixelabstand: Abstand der Mittelpunkte benachbarter Pixel,
- Scanparameter: Einstellbare Parameter des Scannersystemes, die die geometrischen und radiometrischen Eigenschaften des Ergebnisses beeinflussen,
- Hell-/Dunkel-Punkte: Punkte des maximalen bzw. minimalen Grauwertes im Bild,
- Look-Up-Tabelle: Tabelle für die globale Manipulation der Grauwerte eines Bildes. Jedem Grauwert des Eingangsbildes

wird ein eindeutiger Grauwert des Ergebnisbildes zugeordnet,

Datenkompression: Vorgang zur Verringerung der Datenmenge. Die Datenkompression kann verlustfrei oder verlustbehaftet erfolgen,

Kompressionsgrad: Grad 1:n der Verringerung der Datenmenge bei Datenkompression,

Bildpyramide: Repräsentation eines Ursprungsbildes durch eine Folge von Bildern reduzierter Auflösung.

3 Scanner Hardware

Wichtig für die Qualität eines gescannten Luftbildes sind die Anforderungen, die an einen photogrammetrischen Scanner gestellt werden. Im Abschnitt 4 sind die wesentlichen Anforderungen beschrieben.

Ein *photogrammetrischer Scanner* ist ein Bildscanner (DIN 18716-2), der für die A/D Wandlung (DIN 18716-2) von Messbildern (DIN 18716-1) geeignet ist und die in der Norm aufgelisteten Anforderungen erfüllt. Dabei wird im Wesentlichen zwischen radiometrischer und geometrischer Qualität unterschieden.

Die *geometrische Qualität* kann eindeutig mit Messgrößen hinterlegt und auch geprüft werden. In der Photogrammetrie war und ist dies ein Kernbestandteil der Methode und hinreichend bekannt. Für photogrammetrische Scanner gilt, dass die Standardabweichung der Scannerkoordinaten 3 Mikrometer nicht überschreiten darf und ein Einzelfehler höchsten 10 Mikrometer betragen darf. Der Auftraggeber kann einen Nachweis über eine geometrische Kalibrierung fordern. Ein entsprechender Vermerk ist auf dem Formblatt im Anhang A vorgesehen.

Um den gesamten Informationsgehalt eines Luftbildes zu erfassen, muss die geometrische Auflösung des Scanners mindestens 12 Mikrometer betragen. Dies entspricht einem gängigen Wert aus der Praxis. Höhere Auflösungen sind, außer für spezielle Anwendungen, nicht üblich. Auch hier kann der Nachweis durch Scannen eines Li-

E DIN 18740-2 Photogrammetrische Produkte
 Teil 2: Anforderungen an das gescannte Luftbild (Entwurf)
 Anhang A (informativ)
Spezifikation für Scanprojekte

Formblatt nach DIN 18740-2 (Seite 1)

Projekt:			
Zu verwendende Bildnummern:			
Anzahl der Bilder:			
A.1 Analoges Messbild			
Lieferung durch	Auftraggeber		<input type="checkbox"/>
	Auftragnehmer		<input type="checkbox"/>
Aufnahmedatum	.....	
Kamera	.....	
Originalfilm	Pan	<input type="checkbox"/>	CIR <input type="checkbox"/>
	Farbnegativ	<input type="checkbox"/>	Farbpositiv <input type="checkbox"/>
Bildmaßstab			1:
Kalibrierungszertifikat	ja	<input type="checkbox"/>	nein <input type="checkbox"/>
Zu scannende Vorlage	Originalfilm	<input type="checkbox"/>	Kopie <input type="checkbox"/>
Scannen von Originalfilm	Rollfilm	<input type="checkbox"/>	geschnitten <input type="checkbox"/>
Analoger Kontrastausgleich d. Vorlage durchgeführt		<input type="checkbox"/>	
A.2 Scanner			
Typ d. photogrammetrischen Scanners	vorgegeben	.....
	bevorzugt	.....
Nachweis d. geometrischen Qualität d. Scanners (geometrische Kalibrierung)	ja	<input type="checkbox"/>	nein <input type="checkbox"/>
Datum/Zeitabstand d. geometrischen Kalibrierung	.....	
Nachweis d. radiometrischen Dynamik	ja	<input type="checkbox"/>	nein <input type="checkbox"/>
A.3 A/D-Wandlung			
Scanmodus	Einzelbild	<input type="checkbox"/>	Rollfilm <input type="checkbox"/>
	Positiv	<input type="checkbox"/>	Negativ <input type="checkbox"/>
Bildtiefe			..... bit
Geometrische Auflösung			..... µm
Radiometrische Kalibrierung, Zeitpunkt/Zeitabstand	.....	
Anpassung der Scanparameter	für jedes Bild	<input type="checkbox"/>	
	für jeden Streifen	<input type="checkbox"/>	
	für Gesamtprojekt	<input type="checkbox"/>	
Probescan	ja	<input type="checkbox"/>	nein <input type="checkbox"/>

nienauflösungstests vom Auftraggeber eingefordert werden.

Ausdrücklich verweist die Norm darauf, dass eine Interpolation von einer größeren zu einer feineren Auflösung nicht zulässig ist.

Die *radiometrische Qualität*, vor allem was Farbbilder betrifft, wurde bisher überwiegend subjektiv beurteilt und der Erfahrung des Anwenders überlassen. Die neue

Norm DIN 18740-2 beinhaltet auch hier objektive Messgrößen, die für Auftraggeber und Auftragnehmer nachvollziehbar sind. Merkmale sind hier der Dichtebereich und die radiometrische Dynamik. Als Hilfsmittel für den Nachweis wird ein geeignetes Testbild, zum Beispiel ein kalibrierter Graukeil, benötigt. Ein photogrammetrischer Scanner muss einen Dichteunterschied von mindestens 2,0 D erfassen können, wobei

Formblatt nach DIN 18740-2 (Seite 2)

A.4 Speicherung und Ausgabe				
Ausgabe proportional	Transmission	<input type="checkbox"/>	Dichte	<input type="checkbox"/>
	Gamma korrigiert	<input type="checkbox"/>		
Datenformat	.....		
Datenträger	.....		
Digitaler Kontrastausgleich	ja	<input type="checkbox"/>	nein	<input type="checkbox"/>
Bildpyramiden	ja	<input type="checkbox"/>	nein	<input type="checkbox"/>
Datenformat für Bildpyramiden	.....		
Innere Orientierung	ja	<input type="checkbox"/>	nein	<input type="checkbox"/>
	jedes Bild	<input type="checkbox"/>		
	Stichproben	.....	
Datenformat für Orientierungsdaten	.....		
Orientierung aller Bilddaten	i. gleiche Richtung	<input type="checkbox"/>		
Metadaten	.....		
(falls abweichend von E DIN 18740-2: 2004-4, 5.5.2)				
Metadaten im Bildheader speichern	ja	<input type="checkbox"/>	nein	<input type="checkbox"/>
Metadaten in Zusatzdatei speichern	Dateiname	.....	
Datenkompression	ja	<input type="checkbox"/>	nein	<input type="checkbox"/>
Kompressionsart	.....		
Zulässiger Kompressionsgrad	1:.....			
Ausgabe von Probestudien mit Kompression	ja	<input type="checkbox"/>	nein	<input type="checkbox"/>
Übersichtsbilder	ja	<input type="checkbox"/>	nein	<input type="checkbox"/>
A.5 Prüfung				
Innere Orientierung	ja	<input type="checkbox"/>	nein	<input type="checkbox"/>
Prüfung der Farbbalance	ja	<input type="checkbox"/>	nein	<input type="checkbox"/>
Visuelle Prüfung der Farbsäume und Bildschärfe	ja	<input type="checkbox"/>	nein	<input type="checkbox"/>
Prüfbericht erstellen	ja	<input type="checkbox"/>	nein	<input type="checkbox"/>
A.6 Besondere Spezifikationen				
.....				

dieser in einem Bereich zwischen 0 D und 3,0 D liegen darf. Die radiometrische Dynamik muss mindestens 10 Bit je Farbkanal betragen.

4 Prüfung und Anforderungen an das gescannte Luftbild

Abgesehen von den allgemeinen Anforderungen an ein Messbild (DIN 18740-1), ist beim Scannen von Luftbildern die Einhaltung von bestimmten Qualitätsmerkmalen erforderlich. Es sind dies die geometrische Qualität, die radiometrische Qualität, die geometrische Auflösung und die Speicherung des digitalen Bildes.

Eine Überprüfung der geometrischen Qualität wird mithilfe der inneren Orientie-

rung des Bildes durchgeführt, wobei in der Norm ausdrücklich darauf hingewiesen wird, dass dies keine vollständige Kontrolle des gesamten Messbildes darstellt. In der Praxis lässt sich eine innere Orientierung weitestgehend automatisch berechnen. Im Anhang A kann der Auftraggeber mittels eines Formblattes vom Auftragnehmer die innere Orientierung entweder stichprobenartig oder für jedes Einzelbild einfordern.

Die Anforderung an die radiometrische Qualität ist unter Beachtung der Anwendung bzw. des Verwendungszwecks zu betrachten. Im Anhang D sind informative Hinweise zur Prüfung der radiometrischen Scanparameter zusammengefasst. Als objektives Kriterium dient die Prüfung des Histogramms und der Farbbalance. Die

Norm empfiehlt, durch Probescans die radiometrische Qualität nachzuweisen.

Das Datenformat und der Datenträger zur Speicherung des gescannten Luftbildes wird im Formblatt A vom Auftraggeber festgelegt. Dabei lässt die Norm bewusst Spielraum, um der jeweiligen Produktionsumgebung gerecht zu werden.

Abschießend kann in einem Prüfbericht die Dokumentation der Ergebnisse eingefordert werden.

5 Spezifikation für Scanprojekte

Die Norm DIN 18740-2 enthält im Anhang A ein Formblatt zur Spezifikation von Scanprojekten. Dem Anwender ist es gestattet, dieses Formblatt zu vervielfältigen und als Hilfsmittel für die Beauftragung zu verwenden.

Anhang C enthält ein Beispiel für einen Prüfbericht; der Anwender darf den Prüfbericht entsprechend seinen Anforderungen gestalten. Er dient gleichzeitig für die Schlusskontrolle des Scanauftrages.

Literatur

- DIN, 1995: DIN 18716-1 Photogrammetrie und Fernerkundung – Teil 1 Grundbegriffe und besondere Begriffe der photogrammetrischen Aufnahme. – Beuth Verlag, Berlin.
- DIN, 1996: DIN 18716-2 Photogrammetrie und Fernerkundung – Teil 2 Besondere Begriffe der photogrammetrischen Auswertung. – Beuth Verlag, Berlin.
- DIN, 2001: DIN 18740-1 Photogrammetrische Produkte – Teil 1 Anforderungen an Bildflug und analoges Luftbild. – Beuth Verlag, Berlin.
- DIN, 2003: DIN 18740-2 Photogrammetrische Produkte – Teil 2 Anforderungen an das gescannte Luftbild. – Beuth Verlag, Berlin.
- SCHWEBEL, R., 2004: Parametergesteuerte Qualitätssicherung von Orthophotos nach DIN 18740-3. – Photogrammetrie – Fernerkundung – Geoinformation **2004** (6): 531–535.

Anschrift des Verfassers:

Dipl.-Ing. KLAUS JÜRGEN NEUMANN
Intergraph (D) GmbH
Ulmer Str. 124, D-73431 Aalen
Tel.: 07361-889540
e-mail: klaus.neumann@intergraph.com

Manuskript eingereicht: April 2005

Angenommen: April 2005

Berichte

2nd Panoramic Photogrammetry Workshop

24.–25. Februar 2005, Berlin

An dem zum zweiten Mal durchgeführten ISPRS Workshop "Panoramic Photogrammetry" nahmen 48 Teilnehmer aus acht Ländern teil. Der von Prof. Dr. HANS-GERD MAAS, Prof. Dr. THOMAS LUHMANN und Prof. Dr. RALF REULKE im Jahr 2004 initiierte ISPRS Workshop fand in Berlin-Adlershof im Erwin Schrödinger-Zentrum statt, das auf dem Campus der aufstrebenden City of Science, Technology and Media untergebracht ist.

Der Workshop wurde von folgenden Institutionen organisiert: Humboldt-Universität zu Berlin, Computer Vision (RALF REULKE, UWE KNAUER), ISPRS WG V/5 'Development in image sensor technology' (RALF REULKE, SERGEI ZHELTOV), ISPRS WG V/1 'Industrial vision metrology systems and applications' (THOMAS LUHMANN, FRANK VAN DEN HEUVEL) und Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung der TU Dresden (HANS-GERD MAAS, DANILO SCHNEIDER).

In 23 Vorträgen diskutierten die verschiedenen Teilnehmer der Hochschulen und Forschungsinstitute (85%), der Systemhersteller (10%) und der Anwender (5%) folgende Themen im Bereich der digitalen Panoramakameras und terrestrischen Laserscanner: Geometrische Modellierung und Kalibrierung, Kameradesign und vergleichende Genauigkeitsuntersuchungen, Visualisierung von Panoramabildern und Fusion mit anderen Datenquellen und Verarbeitung von hochauflösenden Panoramabildern mit Tiefeninformationen (z. B. Punktwolken).

Gegenüber der Veranstaltung im Jahr 2004 in Dresden dokumentierte der Workshop, dass die Auswahl an Panoramakameras größer wird und dass diese, wie z. B. die EyeScan von DLR/KST GmbH Dresden und die HDR Kamera von SpheronVR AG

Kaiserslautern auch zunehmend in der Photogrammetrie untersucht und eingesetzt werden. Die großen Bildformate der Kameras bis nahezu einem Gigapixel sind besonders für Aufnahmen von Innenräumen und Plätzen in Architektur und Denkmalpflege geeignet und stellen somit eine interessante Ergänzung zur digitalen Mehrbildphotogrammetrie auf Basis zentralperspektiver Bilder und zum terrestrischen Laserscanning dar. Durch Modellierung und Kalibrierung der Panoramakameras werden Genauigkeiten im Subpixelbereich erreicht. Allerdings stellt sich wegen der hohen Anschaffungskosten von mehr als € 20.000 für einige Kameras die Frage, ob digitale Spiegelreflexkameras, die man bei der Aufnahme auf einem Stativ um 360° dreht und deren Aufnahmen man später zu einem Panoramabild zusammensetzt, nicht eine kostengünstige Alternative zu den Panoramakameras darstellen.

Bei terrestrischen Laserscannern wie z. B. Mensi GS100, Riegl LMS-Z420i, IMAGER 5003 von Zoller + Fröhlich und Leica HDS 3000 geht der Trend zum Panoramascanning, um Tiefenbilder zu erzeugen, die in ihren Eigenschaften zu optischen Bildern weitgehend komplementär sind. Zusätzlich bieten Laserscanner zunehmend integrierte Kameras als Basis zur Texturierung der Tiefenbilder, so dass entsprechende Tools in der Auswertesoftware die weitergehende Integration dieser oder mit freien Kameras aufgenommener Bilder in die 3D-Punktwolken ermöglichen.

Es hat sich in dieser Veranstaltung gezeigt, dass der Trend in Richtung Verschmelzung von terrestrischen Laserscannerdaten mit Bildern von digitalen Kameras und Panoramakameras für Visualisierung und Interpretation geht. Außerdem erfolgt heute die automatische Registrierung (Verschmelzung) verschiedener Punktwolken nicht nur über Zielmarken, sondern auch über die Punkthaufen selbst. Eine Auswertung der unstrukturierten Punktwolken zu CAD-Da-

ten erfolgt heute immer noch manuell mit hohem Zeitaufwand. Daher wird eine Akzeptanz der Scanner auf dem Markt nur durch zunehmende Automation bei der Auswertung erreicht. Die Hochschulen zeigen durch Kalibrierung und geometrische Modellierung das Potenzial der innovativen Technologien wie Panoramakameras und Laserscanner auf und unterstützen damit die Systemhersteller, diese Systeme durch erfolgreiche praktische Anwendungen auf dem Markt zu etablieren.

Die technischen Sitzungen hatten eine angenehme großzügige Zeitplanung, die zu interessanten und regen Diskussionen im Anschluss an die jeweiligen Vorträge für die Teilnehmer aus den Bereichen Computer Vision und Photogrammetrie genutzt wurden. Manche Thematik konnte auch durch kurze Demos nach einzelnen Sitzungen vertieft werden. Solche Workshops fördern die Kommunikation zwischen Photogrammetrie und Computer Vision, um zukünftig eine einheitliche Terminologie zu finden und um Synergien beider Disziplinen besser nutzen zu können.

Einen schönen Rahmen zum Workshop bildeten der Empfang im Kaminzimmer der WISTA – Wissenschafts- und Technologieparks Adlershof und die informative Tour zum Einsteinurm im Potsdamer Wissenschaftspark am Samstag nach dem Workshop. Die City of Science, Technology and Media, in Berlin-Adlershof bot eine moderne Infrastruktur mit einer audiovisuellen High-Tech-Ausstattung, die ein angenehmes Umfeld für solch einen Workshop mit den interessanten Vorträgen geboten hat.

Weitere Informationen zum Workshop und der Zugriff auf die Publikationen befinden sich im Internet unter <http://www.informatik.hu-berlin.de/cv/conf/PPW2005/>

Der nächste Panoramic Photogrammetry Workshop ist für 2007 geplant, da vom 25.–27. September 2006 die ISPRS Kommission V (Präsident Prof. Dr. HANS-GERD MAAS) ihr Symposium in Dresden durchführen wird, bei dem Panoramic Photogrammetry auch ein Thema sein wird.

THOMAS KERSTEN, Hamburg

Anwender-Forum TerraSAR

am 25. Februar 2005 in Berlin

Erstmals in der Entwicklung der satellitengestützten Erdbeobachtung wird ab Mitte 2006 mit dem in Deutschland konzipierten und gebauten Satellitensystem TerraSAR-X ein deutscher Radar-Fernerkundungssatellit für kommerzielle Erdbeobachtungen zur Verfügung stehen. Am 25. Februar 2005 fand in diesem Zusammenhang im Umweltbundesamt in Berlin ein Anwender-Forum zur Nutzungsvorbereitung künftiger TerraSAR-Radarsatellitendaten mit dem Thema:

TerraSAR – Neue Möglichkeiten zur Beschaffung von Geoinformationen

statt. Veranstaltet und organisiert wurde dieses Anwender-Forum gemeinsam vom Arbeitskreis Fernerkundung Berlin-Brandenburg e.V., dem Verband der GeoInformationswirtschaft Berlin/Brandenburg e.V., GEOkomm e.V. und der ILV-Fernerkundung GmbH. Diese Veranstaltung war bereits die zweite dieser Art. Eine gleichartige Informationsveranstaltung fand schon im September 2004 in Stuttgart vorrangig für Interessenten aus dem Raum Baden-Württemberg statt, damals gemeinsam von der ILV-Fernerkundung GmbH mit dem Institut für Navigation der Universität Stuttgart organisiert.

Die Zielstellung dieser Anwender-Forum war, neben der Information über potenzielle Applikationsfelder künftiger TerraSAR-Daten, die Einführung in die physikalischen Besonderheiten der SAR-Fernerkundungsdaten und der daraus resultierenden Auswirkungen auf deren Auswertung und Interpretation. Des Weiteren sollten die Anforderungen an Radardatenprodukte aus der unterschiedlichen Sicht von Behörden, Instituten und kommerziellen Nutzern diskutiert werden. Schließlich sollte interessierten Nutzern ein Überblick über das Potenzial der TerraSAR-X Daten vermittelt werden, wobei der Schwerpunkt der vorgestellten Anwendungsbeispiele auf den Gebieten Landschaftsplanung und Landnutzungserfassung lag. Insgesamt wurde auf diesen Veranstaltungen in jeweils 8 Beiträgen ein

breit gefächertes Spektrum an Informationen vorgestellt.

Die Resonanz auf das Veranstaltungsangebot war außerordentlich positiv. Bereits in Stuttgart nahmen ca. 60 Interessenten teil. In Berlin fanden sich über 80 Personen ein, wobei etwa ein Drittel der Teilnehmer aus Firmen und privaten Unternehmen, ein Drittel aus Behörden und der Rest aus Universitäten und wissenschaftlichen Einrichtungen kamen. Die Veranstaltung wurde von Dr. HECKER (GEOkomm e.V.) eröffnet. Die Moderation lag bei Prof. KLEUSBERG (Institut für Navigation der Universität Stuttgart).

Im ersten Teil der Veranstaltung wurde in zwei Vorträgen von J. HERRMANN und Dr. F. JASKOLLA (Infoterra GmbH) ein Überblick über das TerraSAR-Projekt und dessen vielfältige Anwendungsfelder gegeben sowie die Einbindung des TerraSAR-Programms in die europäische GMES-Initiative (Global Monitoring for Environment and Security) vorgestellt. TerraSAR-X wird derzeit auf der Basis eines Public-Private-Partnership (PPP) Abkommens von der EADS Astrium GmbH und der Bundesrepublik Deutschland (BMBF) entwickelt und realisiert. Gleichzeitig bereitet das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) das Bodensegment zum Empfang und zur Archivierung der Daten vor.

Der Satellit wird die Erde in einer Höhe von 514 km auf einer nahezu polaren Umlaufbahn umrunden und dabei neuartige hochwertige X-Band Radardaten in mehreren Polarisationen von der Erde aufnehmen. Er arbeitet unabhängig von Wetterbedingungen, Wolkenbedeckung und Beleuchtung und wird in der Lage sein, Radardaten mit einer Auflösung von bis zu einem Meter zu liefern. TerraSAR-X soll ab dem dritten Quartal 2006 operationell arbeiten.

MANFRED REICH (Institut für Navigation der Universität Stuttgart) übernahm die schwierige Aufgabe, im Rahmen eines Einführungsvortrages in zeitlich sehr knapper Form einige wesentliche Unterschiede zwischen optischen Fernerkundungsdaten und Radardaten aufzuzeigen und daraus resultierende Besonderheiten der Radardaten-

bearbeitung und Interpretation zu diskutieren.

Im zweiten Veranstaltungsschwerpunkt wurden in zwei Vorträgen die Anforderungen an Geo-Informationsprodukte für unterschiedliche Anwender vorgestellt. MATHIAS GÜTHLER (Ingenieurbüro Ökologie – Planung – Forschung) hatte dazu im Rahmen einer Studie die Anforderungsprofile aus der Sicht von in der ökologischen Planung tätigen Unternehmen und Ingenieurbüros verglichen und analysiert. An Hand verschiedener Anwendungsfälle stellte er die Einbindung von Fernerkundungsdaten in den Planungsprozess mit seinen vielfältigen Beziehungen in den unterschiedlichen Planungsebenen und -phasen dar. Anschließend wurden von ANDREAS SCHLEYER vom Landesvermessungsamt Baden-Württemberg die Anforderungen aus Sicht der Landesvermessung dargestellt und erläutert. Insbesondere wies er auf die Defizite bei der Aktualisierung der Flächenattributierung beispielsweise im ATKIS-Datenbestand hin. Für die Produktentwicklung ergibt sich daraus die Folgerung, dass die Priorität für die Fernerkundung bei der Genauigkeit und Sicherheit der Objekterfassung und -differenzierung liegen muss, während die Präzision der Geometrie vorrangig aus den bereits vorliegenden Datenbeständen abgeleitet werden kann.

Zum dritten Schwerpunkt wurden in zwei weiteren Vorträgen Anwendungsbeispiele für den Bereich Landschaftsplanung und Umweltmonitoring näher vorgestellt, die im Rahmen eines Forschungsprogramms zur Entwicklung von TerraSAR-Anwendungsbeispielen (ProSmart II/E) entwickelt wurden. Der erste Vortrag basierte auf den Arbeiten der ILV-Fernerkundung GmbH gemeinsam mit dem Institut für Navigation der Universität Stuttgart zur „Erfassung von Landschaftselementen und Nutzungsstrukturen für Umweltplanung und ökologisches Monitoring“ mit modernen objektorientierten Klassifikationsansätzen. Diese Untersuchungen erfolgten beispielhaft in einem Testgebiet auf der Schwäbischen Alb in Baden-Württemberg, wo besonders komplizierte und kleinräumige Verhältnisse vor-

liegen und entsprechend hohe Anforderungen an die entwickelten Algorithmen und Prozesse gestellt werden müssen. Neben der Darstellung der Voraussetzungen, der entwickelten Segmentierungs- und Klassifizierungsalgorithmen und der Produktgenerierung wurden von den Vortragenden, Herrn PASTERNAK (Institut für Navigation der Universität Stuttgart) und Dr. WEICHELT (ILV-Fernerkundung GmbH) auch detaillierte Aussagen zur Bewertung der Ergebnisse und der erreichten Klassifizierungsgenauigkeit gemacht. Ebenfalls wurde eine Übertragbarkeit der Verfahren auf andere Gebiete am Beispiel des Untersuchungsgebietes Dessau aufgezeigt. Dr. LESSING (DELPHI IMM), ebenfalls Partner für die Applikationsentwicklung im ProSmart-Projekt, stellte im zweiten Vortrag Ergebnisse aus den Untersuchungen im Gebiet Dessau näher vor. Neben den flächenbezogenen Klassifizierungsergebnissen wurden dabei auch Anwendungen für spezielle Aufgabenstellungen wie Erfassung von Tagebaugroßgeräten oder Strommasten bzw. Windkraftanlagen vorgestellt. Besonders hervorgehoben wurden die im Rahmen der Projektarbeiten entwickelten Bewertungstools für die schnelle und operationelle Einschätzung der Qualität des Segmentierungs- und Klassifikationsprozesses sowie zur internetbasierten direkten Einbindung des Anwenders in den Auswerteprozess. Zu den Applikationstechnologien der neuen Radarsatellitendaten, insbesondere für Planungsaufgaben, Umweltüberwachung und Landnutzungskartierung, sind weitere Entwicklungen erforderlich, die von verschiedenen Einrichtungen vorangetrieben werden.

Zum Abschluss des Anwender-Forums wurde in einem von M. WAGNER (ILV-Fernerkundung GmbH) gehaltenen Vortrag die Möglichkeit zur Gewinnung von Zusatzdaten und ergänzenden Informationen mit der digitalen Luftbildkamera DMC vorgestellt. Die ILV-Fernerkundung GmbH verfügt über die erste DMC-Kamera in Europa. Im Jahr 2004 wurden damit im operationellen Einsatz mehr als 60.000 Luftbilder hergestellt. M. WAGNER zeigte nach einer kurzen Einführung zur DMC und der Diskussion

erster praktischer Erfahrungen einige Beispiele für computergestützte Auswertungen und Klassifizierungsansätze dieser digitalen Luftbilder. Sie lassen einen deutlichen Schritt hin zu einer Integration der digitalen Luftbilder in die computerbasierten Analyse- und Klassifizierungstechnologien der Fernerkundungs-Datenauswertung erkennen.

In seinem Schlusswort wies Prof. MAREK (Arbeitskreis Fernerkundung Berlin-Brandenburg e.V.) darauf hin, dass gerade für den Umwelt- und Planungssektor durch verstärkte Monitoringaufgaben im Zusammenhang mit regionalen Aufgaben, aber auch mit Landes- und EU-Bestimmungen, künftig ein weiter wachsender Bedarf an Geoinformationsprodukten erwartet wird. Dieser kann flächendeckend, kostengünstig und aktuell mit den neuen, wetterunabhängigen Radar-Technologien bedient werden. Prof. MAREK schlug vor, nach dem Start des TerraSAR-X Satelliten und dem Beginn der Bereitstellung operationeller Daten ein weiteres Nutzerforum abzuhalten, in dem dann möglicherweise bereits erste Ergebnisse und Erfahrungen mit realen TerraSAR-Daten vorgestellt werden können.

Weitere Informationen sowie die Vorträge als PDF-Datei zum downloaden finden Sie auch unter www.geokomm.de.

HORST WEICHELT, Berlin

10. Münchner Fortbildungsseminar Geoinformationssysteme

2.–4. März 2005 an der TU München

Langsam scheint es sich herumzusprechen, dass zum Thema Geoinformationssysteme (GIS) kein Weg mehr an München vorbeiführt. Während sich früher die Teilnehmer beim Fortbildungsseminar GIS überwiegend aus Süddeutschland, der Schweiz und Österreich rekrutierten, waren dieses Jahr unter den 280 Teilnehmern auch zahlreiche Besucher (22%) aus den nördlicheren Regionen zu verzeichnen, die der Einladung der Technischen Universität München und des »Runder Tisch GIS e.V.« gefolgt sind.

Auffällig war auch der große Anteil an jüngeren Teilnehmern. Und der Besuch des 10. und somit „Jubiläums“-Seminars hat sich für alle gelohnt! In den insgesamt 23 Vorträgen zeigte sich immer mehr die Verschmelzung der Theorie der WebMap- und WebFeatureServices, Geodaten und Geodaten-Infrastrukturen (GDI) zur praktischen GIS-Anwendung. Das Aufeinandertreffen der Experten aus Wirtschaft, Wissenschaft und Verwaltung führte an allen drei Tagen wieder zwischen und nach den Vorträgen zu lebhaften und interessanten Diskussionen.

„*Geodateninfrastrukturen auf dem Prüfstand!*“, unter diesem Motto startete der erste Tag mit durchweg sehr guten Vorträgen. So wurde über den Stand und die konkrete praktische Umsetzung der GDI-Projekte in Deutschland, der Schweiz und in Österreich berichtet. Dabei zeigte sich, dass die praktischen Beispiele eher im benachbarten Ausland zu finden sind als in Deutschland. Gerade unter <http://www.geoland.at> kann man sich GDI in Reinform auf der Netzhaut zergehen lassen. Langsam nimmt aber auch in Deutschland GDI-DE Fahrt auf. Dies bestätigte auch der Blick über den Tellerrand hinaus, der internationale Vergleich, der im Zuge einer Diplomarbeit erstellt wurde. Als roter Faden zog sich durch den ganzen Tag die Erkenntnis, dass jeder Aufbau einer GDI nur unter der Einbeziehung der potenziellen Nutzer und deren konkreter Anforderungen erfolgreich werden kann. Eine andere GDI-Baustelle ist immer noch das Thema Metadaten, die nur rudimentär bei den Geodaten-Anbietern veröffentlicht werden. Keine Baustelle dagegen ist die traditionelle Abendveranstaltung am Ende des 1. Tages, die wie immer bestens organisiert einen wunderbaren Rahmen für das gegenseitige Kennenlernen und für vertiefte Fachdiskussionen der Teilnehmer darstellte.

Der zweite Tag begann mit dem Block „*Good Practice Projekte*“. Warum dieser Block gegenüber dem Vorjahr, wo er noch „*Best Practice Projekte*“ hieß, verbal zurückgestuft wurde, kann nicht nachvollzogen werden, denn die Vorträge aus der Praxis waren bestens. Schwerpunkt hier war die GIS-Anwendung bei Energieversorgern, bei

Städten und Banken. Waren GIS-Anwendungen früher noch reine Projektlösungen einzelner Anwender, so findet man heute GIS-Systeme mit einem breiten Anwenderkreis mit unterschiedlichen Interessen. Als Vertreter eines Landesvermessungsamts muss der Berichtersteller natürlich den Vortrag über die Digitale Ortskarte 1:10.000 der bayerischen Kollegen lobend erwähnen. Der Blick ein Jahr zurück ist auch beim nächsten Vortragsblock interessant. Letztes Jahr war an dieser Stelle das Thema „GIS an Schulen“ auf dem Stundenplan, dieses Jahr hieß das Spezialthema „*Die Dimension Zeit in GIS*“. Auch dieses Thema hätte es verdient, eine ähnliche Karriere und Bedeutung wie das Vorjahresthema zu erlangen, das ja bei der INTERGEO 2004 einen eigenen, viel beachteten Vortragsblock einge-räumt bekam.

Über den ständig zunehmenden *Einsatz von GIS in den Bereichen Planung, Landnutzung, Umwelt- und Naturschutz* wurde am 3. Tag berichtet. Der Schwerpunkt der Vorträge lag dabei auf der notwendigen Datenqualität der zur Verfügung stehenden Daten. Diese ist für die Kosteneffizienz und die Entscheidungssicherheit in starkem Maße von Bedeutung. Wichtig sind dabei die Aspekte Datenstruktur, Datenformat, Einhaltung von Standards, vor allem auch bei Sachdaten, sowie eine „saubere“ Dokumentation und das Angebot von Metadaten. Eine große Rolle spielt immer mehr „GIS im Internet“. So werden z. B. Umweltdaten über große und leistungsfähige Datennetze von verschiedenen öffentlichen und privaten Anbietern bereitgestellt. Wichtig ist hier die Entwicklung von gut gestalteten Anwenderoberflächen, die parallel auf die Vielfalt der Geodaten und Strukturen verteilter Technologien zugreifen können. Mit diesen Anforderungen an eine Geodateninfrastruktur schloss sich wieder der Kreis zu den Themen des 1. Tages, so dass sicher alle Teilnehmer rundum zufrieden ihre Heimreise antreten konnten.

Nicht vergessen zu erwähnen sollte man die parallel zu den Vorträgen stattfindenden Präsentationen aktueller Forschungsprojekte auf Basis der herstellerübergreifenden

OGC-Testplattform mit dem Schwerpunkt Leitungsauskunft.

Trotz oder vor allem wegen der Feierstimmung aus Anlass des Jubiläums war dies ein sehr interessantes und gelungenes Seminar. Dafür gebührt Prof. SCHILCHER und seinem Team ein herzlicher Dank und ein großes Lob – sowohl für die Auswahl der durchweg kompetenten Referenten als auch für die gewohnt gute Organisation. Ich werde auch nächstes Jahr wiederkommen, auch wenn es „nur“ das 11. Münchener Fortbildungsseminar Geoinformationssysteme sein wird (1.–3. März 2006).

THOMAS WITKE, München

Verleihung des Förderpreises der TU München für Geoinformatik 2005

Im Rahmen des 10. Münchner Fortbildungsseminars Geoinformationssysteme an der TU München wurde Anfang März zum vierten Mal der mit 2.500 Euro dotierte Förderpreis für Geoinformatik vergeben. Die Verleihung des Preises ist fester Bestandteil der Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses, die sich der Verein Runder Tisch GIS e.V. zum Ziel gesetzt hat.

18 Nachwuchswissenschaftler aus Deutschland, Österreich und der Schweiz hatten dazu ihre jeweils mit „sehr gut“ bewerteten Abschlussarbeiten eingereicht. Die Dissertationen, Diplom- und Magisterarbeiten kamen aus den Fachrichtungen Geodäsie, Geoinformatik, Geographie, Umweltwissenschaften und Kartographie. Die Jury zur Bewertung der Arbeiten bildeten in diesem Jahr Prof. FRANKENBERGER (Bayerische Vermessungsverwaltung), Prof. GREVE (Universität Bonn), Prof. LENZ (Hochschule für Wirtschaft und Umwelt, Nürtingen) sowie Prof. LOTHER (Fachhochschule München). Die Qualität der Arbeiten war nach Angaben der Jury auch in diesem Jahr sehr hoch. Der Vorstandsvorsitzende des Vereins Runder Tisch GIS, Prof. SCHILCHER, gab dann zu Beginn des Fortbildungsseminars die Entscheidung der Jury bekannt, den Förderpreis an Dr.-Ing. ANDREAS DONAU-

BAUER für seine herausragende Dissertation „Nutzung verteilter Geodatenbanken mittels standardisierter GeoWeb Services“ zu verleihen. Dr. DONAUBAUER ist Mitarbeiter am Fachgebiet Geoinformationssysteme sowie am Wissenschaftszentrum Weihenstephan der Technischen Universität München und beschäftigt sich seit 2000 mit dem Thema Geo Web Services, das insbesondere im Zusammenhang mit der Diskussion um Geodateninfrastrukturen und e-Government außerordentliche Bedeutung erlangt hat. Sein Fokus liegt dabei auf der Verfügbarmachung von Geodaten über das Internet auf Basis internationaler Normen und Standards.

GABRIELE AUMANN, München

Fernerkundung urbaner Räume

- 5th International Symposium on Urban Remote Sensing (URS 2005)
 - 3rd International Symposium on Data Fusion over Urban Areas (URBAN 2005)
- 14.–16. 3. 2005 in Tempe, Arizona, USA

Beide Konferenzen zum Thema Fernerkundung urbaner Räume fanden an der Arizona State University (ASU) statt. Es war das erste Mal, dass beide Konferenzen, die sonst separat an unterschiedlichen Orten und zu verschiedenen Terminen veranstaltet worden waren, in diesem Jahr parallel an einem Ort stattfanden.

Die Tagungen wurden vom Vizepräsidenten der Arizona State University, JONATHAN FINK, eröffnet. Er erläuterte eingangs die Fernerkundungsprojekte, bei denen sich die ASU engagiert. Besonders hervorzuheben ist hier das ‚100 Cities Project!‘, dessen Ziel es ist, in den größten Metropolen weltweit ein standardisiertes Satellitenmonitoring aufzubauen, das auf Bilddaten des ASTER Sensors basiert. CHARLES REDMAN zeigte anschließend die Ziele des International Institute for Sustainability auf, unter dessen Administration die beiden Tagungen durchgeführt wurden. PIERFRANCESCO LOMBARDO von der Universität Rom erläuterte die Auf-

gaben und Ziele des *'Urban Remote Sensing'* unter einer historischen Perspektive. Abschließend sprach der Ehrenpräsident der DGPF, JÖRG ALBERTZ, ein Grußwort an die Teilnehmer.

Der wissenschaftliche Eröffnungsvortrag wurde von CURT DAVIS, University of Missouri-Columbia gehalten, der unter dem Titel *'Secrets for Sale: The Role of Commercial Satellite Imagery in National Security'* aktuelle Trends in der U.S. Fernerkundung vorstellte. Besonders hervorzuheben sind aus diesem Beitrag die zukünftigen Aktivitäten der Fa. Digitalglobe, Betreiber des Satelliten *'Quickbird'*. Nach Auskunft von CURT DAVIS stehen bald Quickbird-Satellitenbilddaten für die wissenschaftliche Auswertung kostenfrei zur Verfügung.

Direkt an den Eröffnungsvortrag knüpfte die erste technische Sitzung mit dem Titel *'Neue Daten und Sensoren'* an. Synthetic Aperture Radar (SAR) gewinnt zunehmend an Bedeutung auch für die Erfassung urbaner Objekte. Die zweite Sitzung *'Neue Daten und Sensoren'* befasste sich mit dem Einsatz neuartiger LIDAR- und hyperspektraler Fernerkundungsprodukte für urbane Fragestellungen. Abgeschlossen wurde die Reihe mit der Vorstellung innovativer Entwicklungstrends für neue Fernerkundungsdaten.

Eine spezielle Themensitzung mit dem Titel *'Global Mapping of Urban Areas'*, bestehend aus drei Teilen, fand im Anschluss daran statt. Ein weiteres Schwerpunktthema war das *Monitoring von Stadtwachstum und Stadtentwicklung*. Gerade der in den Entwicklungsländern zu beobachtende Trend der Urbanisierung stellt die Fernerkundung vor neue Herausforderungen. Direkt mit dieser Thematik verknüpft ist das Phänomen der „Städtischen Wärmeinseln“, das bei urbaner Verdichtung stark ausgeprägt ist. Im Kontext der Stadtklimatologie wurden interessante Analysen vorgestellt, die größtenteils auf thermalen Fernerkundungsdaten aufsetzen. Fernerkundung wird ebenfalls zunehmend für die Abschätzung von sozialen Fragestellungen herangezogen. Die Ergebnisse dieser Arbeiten wurden in einer speziellen Themensitzung gezeigt.

Am Abend des ersten Konferenztages luden die Firmen Leica, Definiens Imaging und ESRI zu einer Posterausstellung ein, die sich einer ausnehmend hohen Beteiligung und sehr positiver Resonanz seitens der Teilnehmer erfreute.

Der zweite Tagungstag wurde von JOHN JENSEN, University of South Carolina, mit einem Keynote Vortrag eröffnet. Er gab einen exzellenten Einblick in seine vielfältigen Forschungsprojekte, die von ihm ebenso gut aufbereitet und didaktisch ansprechend präsentiert wurden, wie seine zahlreichen Basiswerke, die er publiziert hat. Die technischen Sitzungen wurden anschließend mit dem Block *'Gebäudeextraktion'* gestartet. Hier sind in der jüngsten Vergangenheit weitere Fortschritte gemacht worden, die eine Verbesserung der Erfassungsgenauigkeit bringen. Eng an diese Thematik angelehnt ist die Problematik der Detektion und Änderung von urbanen Strukturen. Zwei weitere Sitzungen widmeten sich intensiv diesen Fragestellungen.

Der dritte Tag beider Konferenzen wurde von BRENDA SMITH, Environmental Protection Agency (EPA) eröffnet. Sie ist für die *Geodatenhaltung und deren Analyse* bei der EPA zuständig und gab einen detaillierten Einblick in ihren Aufgabenbereich.

Extrem hoch auflösende Fernerkundungsdaten ermöglichen schon die *Erfassung von einzelnen Fahrzeugen im fließenden Verkehr*. Ebenso gewinnt die *Extraktion von Straßenzügen* zunehmend an Bedeutung. Diese vielfältigen Möglichkeiten wurden in eigenen Sitzungen vorgestellt. Gerade in städtischen Gebieten sind sehr viele, gemischte Oberflächenmaterialien feststellbar, die nur schwer aus multispektralen Bilddaten zu erfassen sind. Neue hyperspektrale Sensoren bergen hier ein hohes Potential, das in einer eigenen Sitzung umfassend behandelt wurde.

Für den Preis des besten studentischen Beitrages waren drei Kandidaten nominiert: SAIED HOMAYOUNI, AVIVA PEETERS und BERT WOLF. Mit seinem Vortrag *'Generating True Ortho Images From Urban Areas – A New Approach'* konnte BERT WOLF von der Technischen Universität Berlin den ers-



Fig. 1: Dr. MATTHIAS MOELLER, Diplomand BERT WOLF und Prof. Dr. JÖRG ALBERTZ (v.l.)

ten Preis erzielen (Fig. 1) und AVIVA PEETERS sowie SAIED HOMAYOUNI auf die Plätze zwei und drei verweisen.

Abgerundet wurden die beiden Tagungen durch einen begleitenden Workshop, der von der NASA in Kooperation mit dem USGS veranstaltet wurde. Insbesondere das Potential des ASTER Sensors für die urbane Fernerkundung konnte hier vorgestellt werden. ASTER Bilddaten werden zunehmend als Ersatz für Landsat TM/ ETM herangezogen, sind qualitativ hochwertig, günstig im Preis und tagesaktuell zu bestellen. Gerade unter dem Gesichtspunkt, dass die Funktion von ETM gestört ist, bietet ASTER ein hohes Potential.

Beide Konferenzen sind ursprünglich in Europa und separat etabliert worden und wurden nun das erste Mal außerhalb Europas und gemeinsam veranstaltet. Gerade diese Tatsache kann als Indikator dafür gewertet werden, dass die Thematik ‚Urban

Monitoring with Remote Sensing‘ international an Bedeutung gewinnt und auf ein breites wissenschaftliches Interesse stößt. Es lag im Interesse aller Wissenschaftler, beide Züge zu einer gemeinsamen Tagung zu vereinen, denn die Überlappungsbereiche sind sehr groß. Somit war zu erwarten, dass die Teilnehmer einen deutlich gesteigerten Mehrwert aus beiden Tagungen ziehen konnten. Trotzdem waren die Inhalte auch weiterhin getrennt, die Sitzungen beider Tagungen fanden parallel statt. Die Veranstalter hatten das Zeitschema so gewählt, dass ein Wechseln zwischen den Sitzungen nahtlos ermöglicht wurde. Dies erhielt einerseits den eigenständigen Charakter beider Tagungen, ermöglichte andererseits aber die Zusammenstellung eines individuellen Programms.

Abschließend kann festgestellt werden, dass die Zusammenführung beider Konferenzen einen großen Gewinn darstellt und

die Tagungen auch zukünftig gemeinsam veranstaltet werden sollen. So wurde bereits auf die nächsten Konferenzen im Frühjahr 2007 in Paris, Frankreich hingewiesen.

Die insgesamt 147 Teilnehmer konnten sich in sehr guten Vorträgen über aktuelle Trends der urbanen Fernerkundung informieren, Fragestellungen und Probleme diskutieren und nicht nur bei einem echten Westernabend – ganz im Sinne der Cowboytradition mit Steak und Beans – neue Kontakte knüpfen.

MATTHIAS MOELLER
Arizona State University

GIS-Leitfaden zur Datenqualität für Planungsbüros und Behörden

Die Aufgabe, Geobasisdaten bereitzustellen, bedingt höhere Anforderungen an die Qualität der Daten, aber auch an die Art und Weise des Vorhaltens und Bereitstellens der Daten.

Eine unabhängige Stelle, das Institut für Angewandte Forschung der Fachhochschule Nürtingen, hat sich in Zusammenarbeit mit dem Runden Tisch GIS e.V. in München und ausgewählten GIS-Fachleuten aus der Praxis mit dem Thema Qualität von digitalen Daten in besonderer Weise auseinandergesetzt. Mit dem vorliegenden Leitfaden, herausgegeben vom Runden Tisch Geoinformationssysteme e.V. München, hat der Nutzer eine verlässliche Orientierungshilfe zur Hand bekommen.

Viele Gemeinden, Städte, Landkreise, aber auch weitere Behörden und Institutionen haben zwischenzeitlich ein Geographisches Informationssystem eingeführt. Auf GIS Daten basieren in zunehmendem Maße Planungen und Entscheidungen. Deren Richtigkeit hängt oft ganz wesentlich von der Qualität der verwendeten Daten ab.

Alle, ob Kommunen, Planungsbüros oder sonstige Behörden, erhalten mit diesem Leitfaden konzentriert und doch umfassend wichtigste Informationen zu GIS und Datenqualität. Ein Thema, das beispielsweise bei Ausschreibung und Vergabe von Pla-

nungen und Ingenieurleistungen sowohl für den Auftraggeber wie für den Auftragnehmer bedeutend ist.

Der Leitfaden wendet sich an die Zielgruppe der Kommunen und Planer, aber auch an Behörden und Dienstleistungsunternehmen, die sich mit der Erfassung, Vermarktung und Nutzung von Geodaten für Planungsaufgaben befassen.

Der Leitfaden ist fachlich anspruchsvoll und setzt Grundkenntnisse in Geoinformationssystemen (GIS) und in der Planung voraus. Er gibt auf weniger als 50 Seiten konzentriert Informationen zum Thema GIS und Datenqualität.

Er baut auf dem vom Bayerischen Gemeindetag, Städtetag, Landkreistag, der Vermessungsverwaltung und dem Runden Tisch GIS e.V. herausgegebenen Leitfaden für „GIS-Einsteiger in Kommunen“ auf.

Eine Zusammenfassung sowie die komplette Fassung des GIS-Leitfadens zur Datenqualität für Planungsbüros und Behörden

- ▶ steht als kostenfreies PDF-Dokument unter <http://www.rundertischgis.de/> zum Download zur Verfügung
- ▶ oder kann in analoger Form gegen einen als Großbrief (1,44 Euro) frankierten und beschrifteten DIN-A4-Freiumschlag angefordert werden bei:

Runder Tisch GIS e.V., Geschäftsstelle
c/o Technische Universität München
Arcisstr. 21, 80333 München

GABRIELE AUMANN, München

Internationale Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung (ISPRS)

Nach der Aktualisierung der Mitgliederdatei im Ergebnis des 20. Kongresses der ISPRS im Jahre 2004 in Istanbul hat die Internationale Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung jetzt:

90 Ordentliche Mitglieder,
11 Assoziierte Mitglieder,
71 Korporative Mitglieder,

12 Regionale Mitglieder und
7 Ehrenmitglieder.

Ordentliche Mitglieder der ISPRS (in deutscher Schreibweise, alphabetisch geordnet nach der englischen Fassung). In Klammern ist die Kategorie der Mitgliedschaft angegeben von (1) – weniger als 26 Mitglieder bis (8) – mehr als 800 Mitglieder.

Algerien (3), Argentinien (2), Australien (5), Österreich (4), Aserbaidschan (1), Bangladesch (2), Belgien (4), Benin (1), Botsuana (1), Brasilien (5), Brunei (1), Bulgarien (2), Burkina Faso (1), Kamerun (1), Kanada (8), Chile (1), China (7), China-Taipeh (4), Kolumbien (2), Elfenbeinküste (1), Kroatien (2), Kuba (1), Zypern (2), Tschechische Republik (2), Dänemark (3), Ägypten (2), El Salvador (3), Äthiopien (1), Finnland (5), Frankreich (6), Deutschland (8), Ghana (1), Griechenland (2), Hongkong (2), Ungarn (3), Indien (6), Indonesien (1), Iran (1), Irak (1), Irland (2), Israel (3), Italien (6), Japan (7), Jordanien (4), Kenia (1), Korea (2), Kuwait (2), Lettland (1), Libanon (1), Libyen (1), Litauen (1), Malawi (2), Malaysia (2),

Mexiko (2), Mongolei (1), Marokko (3), Myanmar (2), Namibia (1), Nepal (1), Niederlande (4), Neuseeland (2), Nigeria (3), Norwegen (3), Pakistan (1), Peru (1), Philippinen (1), Polen (3), Katar (1), Rumänien (2), Russische Föderation (8), Saudi-Arabien (4), Slowakei (2), Slowenien (1), Südafrika (5), Spanien (6), Sri Lanka (3), Suriname (2), Schweden (5), Schweiz (4), Syrien (3), Tansania (1), Thailand (5), Türkei (4), Ukraine (3), Vereinigte Arabische Emirate (1), Großbritannien und Nordirland (6), USA (8), Uruguay (1), Venezuela (2), Vietnam (1).

Ehrenmitglieder der ISPRS:

M. GEORGES DE MASSON D'AUTUME, Frankreich, Dr. FREDERICK J. DOYLE, USA, Mrs. AINO SAVOLAINEN, Finnland, Prof. Dr. GOTTFRIED KONECNY, Hannover, Prof. Dr. FRIEDRICH ACKERMANN, Stuttgart, Dr. SHUNJI MURAI, Japan und LAWRENCE W. FRITZ, USA.

Quelle: ISPRS Highlights, Vol. 10, N° 1 vom März 2005 PFG 6/2004, S. 536–540

Hochschulnachrichten

Universität Zürich

Dipl.-Geogr. **STEFAN BIEGGER** wurde am 11. November 2004 an der Mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Zürich mit der Dissertation *A Visual System for the Interactive Study and Experimental Simulation of Climate-induced 3D Mountain Glacier Fluctuations* zum Dr. sc. nat. promoviert.

Gutachter waren Prof. Dr. **KLAUS ITTEN**, Prof. Dr. **DANIEL NÜESCH** (Universität Zürich) und Prof. Dr. **JÜRGEN DÖLLNER** (Universität Potsdam).

Die Arbeit ist 2004 in der Schriftenreihe des Geographischen Instituts der Universität Zürich als Vol. 43 und als CD ROM erschienen. 150 S. ISBN 3-03703-009-7

Zusammenfassung

Unsere Umwelt ist einem ständigen Wandel unterlegen, sei es aufgrund natürlicher oder anthropogener Einflüsse. Um zukünftige Entwicklungen unseres natürlichen Lebensraumes frühzeitig zu antizipieren und entsprechende Maßnahmen rechtzeitig treffen zu können, ist das Verständnis der natürlichen Zusammenhänge und Veränderungen für die Gesellschaft von großer Bedeutung. Mit zunehmender Komplexität der berücksichtigten Prozesse wird es jedoch für Wissenschaftler schwierig, die simulierten Sachverhalte adäquat zu analysieren. Zudem ist es notwendig, dass nicht nur Wissenschaftler sondern auch Personen ohne Expertenwissen die Hintergründe der natürlichen

Veränderungen erkennen. Eine aktive Auseinandersetzung durch empirisches Lernen ist dabei einer passiven Kommunikation vorzuziehen, da sie zu einer gesteigerten Aufnahmebereitschaft und somit zu erhöhter Selbstverantwortung und Kompetenz bezüglich umweltrelevanter Aspekte beitragen kann. Als Beispiel eines Umweltprozesses werden die klimabedingten Veränderungen eines Gebirgsgletschers betrachtet, da kaum ein anderer natürlicher Prozess die Auswirkungen der globalen Klimaerwärmung deutlicher zeigt.

Zur effizienten Untersuchung komplexer Sachverhalte ist der Einsatz von Visualisierungstechniken sehr gut geeignet, da sich diese der enormen Fähigkeit des menschlichen Gehirns zur Verarbeitung visueller Information bedienen. Zudem hat sich aufgrund der rasanten technologischen Entwicklung im Bereich der Computergraphik die interaktive und dreidimensionale Visualisierung etabliert.

Das Ziel dieser Arbeit bildet die Entwicklung eines visuellen Systems, das Methoden zur interaktiven Analyse und experimentellen Simulation von klimabedingten Veränderungen eines Gebirgsgletschers bereitstellt. Als methodisches Konzept liegt dem System ein experimenteller Simulationskreislauf zu Grunde, der durch visuelle Analysemöglichkeiten ergänzt wird. Ein Experiment entspricht dabei dem einmaligen Durchlauf des Kreislaufs. Aufgrund einer Anfangshypothese wird mit der entwickelten Simulationsmethode ein neuer Zustand des Gletschers berechnet, der anschließend in eine visuelle Repräsentation überführt wird. Aufgrund der visuellen Analyse der Simulationsergebnisse und eines Vergleichs mit Referenzinformation kann die Hypothese verifiziert und allenfalls modifiziert werden. Nach mehreren Experimenten können die daraus gewonnenen Erfahrungen zueinander in Beziehung gebracht werden, was zu neuen Rückschlüssen führen kann.

Die als Prototyp entwickelte Software basiert auf einem bereits bestehenden Geländevisualisierungssystem, das eine effiziente Methode zur Geländedarstellung bereitstellt. Zur Beschreibung des Szenengraphen

und zur Implementierung anspruchsvoller computergraphischer Methoden wird die Open-SceneGraph-Bibliothek verwendet, welche auf OpenGL als Graphikbibliothek aufsetzt. Das System wurde zur Vereinfachung als geschlossenes System implementiert, weshalb keine konzeptionellen Überlegungen bezüglich eines generischen visuellen Simulationssystems angestellt wurden. Die Simulations- und Renderingroutinen konnten somit direkt im selben Kontext implementiert werden. Die Steuerung des Simulationsablaufs, die Veränderung von physikalischen und geometrischen Größen sowie die Navigation in der Zeit wird über eine graphische Schnittstelle ermöglicht. Ausgewählte Simulationsergebnisse werden in einem Experimentarchiv abgelegt, um eine nachträgliche Analyse außerhalb des Systems zu gewährleisten.

Die Analyse und Validierung eines Experiments erfordert entsprechende Möglichkeiten zur numerischen und visuellen Auswertung der Resultate. Deshalb wurden verschiedenste Ansätze zur Navigation im Raum und in der Zeit wie auch zur Steuerung des Simulationskreislaufs in das System integriert. Für die aufgabenorientierte Navigation im dreidimensionalen Raum wurden zwei Metaphern für die gezielte Positionierung, drei Metaphern für die Exploration und zwei Metaphern zur objektbezogenen Untersuchung der Gletscheroberfläche umgesetzt. Zur visuellen Analyse wurden Methoden entwickelt, die entweder die Informationskomplexität reduzieren oder zusätzliche Information für Validierungszwecke einblenden und moderne Techniken der Computergraphik einsetzen. Zusätzlich erlauben die implementierten Funktionen zur interaktiven Informationsextrahierung eine numerische Auswertung der Simulationsergebnisse im georeferenzierten dreidimensionalen Bezugsraum. Die modifizierte Darstellung eines Gletschers, zum Beispiel durch Veränderung der Beleuchtung oder des Abstraktionsgrades, stellt ein weiteres Hilfsmittel dar, um Gletscherveränderungen visuell zu untersuchen.

Es wurden fünf bestehende Gletschermodelle evaluiert, die hinsichtlich Komple-

xität und Einsatzbereich unterschiedlich sind. Nur eines der vorgestellten Gletschermodelle kann klimatisch bedingte Fluktuationen eines Gebirgsgletschers ohne Vorkenntnisse bezüglich der Form des Gletscherbetts beschreiben. Dieses eindimensionale Gletschermodell dient als Grundlage für eine neue Methode zur Simulation von dreidimensionalen Gletscherveränderungen.

Für die Simulation und geometrische Modellierung wird ein Gletscher als Summe mehrerer einzelner Gletscherarme betrachtet. Die Anzahl der Gletscherarme und der Verlauf in Fließrichtung wird aufgrund eines digitalen Höhenmodells bestimmt. Sowohl für die Simulation als auch für die visuelle Darstellung wird jeder Gletscherarm als eigenständige Einheit betrachtet, da keine Interaktionen berücksichtigt werden.

Die implementierte Simulationsmethode ermöglicht einerseits die Berechnung des dreidimensionalen Gletscherbetts und andererseits die Bestimmung eines neuen Gleichgewichtszustandes des Gletschers aufgrund veränderter Klimabedingungen. Die Methode geht von einem Gleichgewichtszustand des Gletschers aus, berücksichtigt keine dynamischen Prozesse, setzt temperiertes Eis voraus und ist nur für größere Zeiträume im Bereich von 20 bis 100 Jahre zulässig. Im Gegensatz dazu kann die Methode universell für Gletscher auf der ganzen Welt einfach eingesetzt werden, da nur wenige Inputparameter und kein Gletscherbett erforderlich sind. Die Eismächtigkeit wird mithilfe der aus einem digitalen Höhenmodell extrahierten Neigung der Gletscheroberfläche in Fließrichtung abgeschätzt. Zur Bestimmung der Gletscherbreite wird eine empirisch ermittelte Dicken-Breite-Beziehung eingesetzt. Die Kalkulation eines neuen Gleichgewichtszustandes beruht auf einer stufenförmigen Anpassung an eine veränderte Massenbilanz, welche nach einer gletscherspezifischen zeitlichen Verzögerung erreicht ist.

Für die visuelle Umsetzung wird ein Gletscher als Summe mehrerer Flächen modelliert, die jede für sich einen Gletscherarm repräsentiert. Der Verlauf eines Gletscherarmes in Fließrichtung wird mit Hilfe kubi-

scher *Non-Uniform Rational B-Spline* (NURBS) Kurven parameterisiert. Zur flächenhaften Beschreibung eines Gletscherarmes werden kubische NURBS-Flächen verwendet. Diese erlauben eine effiziente und kontinuierliche Beschreibung des typischen parabolischen Querschnitts und der gekrümmten sowie glatten Oberfläche. Ein geotypisches Aussehen eines Gletscherarmes wird durch eine computergenerierte zweidimensionale Textur erreicht, während durch die Gouraud-Schattierung die Form eines Gletscherarmes besser wahrgenommen werden kann.

Die visuelle Umsetzung von Gletscherfluktuationen basiert auf einer physikalischen Beschreibung der statischen steady-state Deformation und einer prozeduralen Animation, die für das dynamische *Morphing* eingesetzt wird. Die dynamische Entwicklung eines Gletschers von einem Gleichgewichtszustand zu einem anderen wird durch eine dreidimensionale und flächenbasierte Methode beschrieben. Die notwendige Korrespondenz zwischen zwei Gletscherarmflächen ist durch die Kontrollpunkte der parametrischen Beschreibung gewährleistet. Jeder einzelne zentrale Kontrollpunkt wird entlang einer parametrischen Geländekurve animiert. Für die Beschreibung der zeitlichen Verzögerung des Rückzugs gegenüber der Dickenveränderung im Zungenbereich wird ein exponentielles *Morphing* eingesetzt. Das Fließen an der Gletscheroberfläche wird durch eine animierte Textur simuliert.

Die entwickelten Methoden wurden am Fallbeispiel Morteratschgletscher in der Schweiz überprüft. Die geometrische Modellierung eines Gletschers als Summe mehrerer NURBS-Flächen hat sich für die visuelle Beschreibung und das *Rendering* eines statischen Zustandes wie auch von animierten Veränderungen bewährt. Aufgrund fehlender flächenhafter Referenzinformation konnte das berechnete Gletscherbett nur an einem Punkt validiert werden, wobei eine Abweichung der Eismächtigkeit im Bereich von 10% festgestellt werden konnte. Die Simulationsresultate deuten zudem auf eine Bettübertiefung von 100 m hin. Die mit 11 Gletscherarmen simulierte Fläche für die

initiale Ausdehnung 1985 ist um maximal 24% kleiner als in Wirklichkeit, vor allem aufgrund des zu kleinen Akkumulationsgebietes. Aufgrund einer angestellten Extrapolation kann davon ausgegangen werden, dass die reale Fläche mit ungefähr 19 Gletscherarmen erreicht wird.

Ein Vergleich zwischen simulierten Zuständen und historischen Referenzinformationen bezüglich der maximalen Ausdehnung 1850/60 und der Ausdehnung 1910 ergab eine gute Korrelation der Eismächtigkeit wie auch der Gletscherbreite.

Vier verschiedene Experimente wurden durchgeführt, um einerseits das Prinzip des experimentellen Simulationskreislaufs zu illustrieren und andererseits den beobachteten Rückzug des Morteratschgletschers seit 1850 zu rekonstruieren. In den ersten drei Experimenten konnte der Einfluss der drei Simulationsparameter Massenbilanzgradient, Höhe und lokale Sensitivität der Gleichgewichtslinie aufgezeigt werden. Im vierten Experiment wurde in einem stufenförmigen Prozess zuerst das zeitliche Rückzugsverhalten über die Anpassung des Massenbilanzgradienten rekonstruiert. Danach konnte durch die Optimierung der lokalen Sensitivität der Gleichgewichtslinie und des Verlaufs der Lufttemperatur das beobachtete räumliche Rückzugsverhalten simuliert werden. Weitere Untersuchungen sind notwendig, um den vorgestellten Rekonstruktionsansatz zu verifizieren.

Mit den in Rückzugsexperimenten optimierten Simulationswerten (Massenbilanzgradient $0.68 \text{ mwe}/100 \text{ m}$, Gleichgewichtslinienanstieg $160 \text{ m}/^\circ\text{C}$) wurden mögliche zukünftige Entwicklungen des Morteratschgletschers simuliert. Dabei wurden drei verschiedene Klimaszenarien des IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) als Beschreibung der zukünftigen Klimaentwicklung angewandt. Die Simulationen ergeben einen Rückzug der Gletscherzunge um 2–4 km und eine Volumenverminderung von 31–77% im Zeitraum von 1985 bis 2100. Um die Qualität der Simulationen zu bewerten, sind erweiterte Messreihen sowie weiterführende Experimente in anderen Testgebieten notwendig. Zudem kann ein

Vergleich mit anderen Simulationsmodellen helfen, systematische Fehler zu erkennen.

Es konnte gezeigt werden, dass die interaktive Untersuchung und das handlungsbaasierte Begreifen von simulierten Veränderungen eines dreidimensionalen Gletschers mithilfe des implementierten visuellen Systems möglich ist. Dazu ist es erforderlich, dass die Benutzenden auf eine breite Palette verschiedenster Methoden zur Navigation in Raum und Zeit, zur Simulationssteuerung, zur Informationsextrahierung sowie zur visuellen Analyse zurückgreifen können.

Universität Zürich

Dipl.-Phys. ADRIAN SCHUBERT wurde am 11. November 2004 an der Mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Zürich mit der Dissertation *Stereo – Assisted Interferometric SAR* zum Dr. sc. nat. promoviert.

Gutachter waren Prof. Dr. KLAUS ITTEN und Prof. Dr. ROBERT WEIBEL.

Die Arbeit ist 2004 in der Schriftenreihe des Geographischen Instituts der Universität Zürich als Vol. 44 und als CD ROM erschienen. 177 S. ISBN 3-03703-010-0

Zusammenfassung

Die zwei zuverlässigsten Methoden für topographische Höhenextraktion aus SAR Bildpaaren sind die Interferometrie (InSAR) und die Stereogrammetrie (StereoSAR). Die hoch aufgelösten, interferometrisch hergestellten Resultate standen in den letzten Jahren im Mittelpunkt der Forschung auf dem Gebiet der Generierung digitaler Oberflächenmodelle, (*digital surface models* oder DSMs). Obwohl InSAR die genauere Technik ist, hat sie im Vergleich zu StereoSAR doch mehrere Schwächen:

- Die Berechnung eines Höhenmodells mittels InSAR erfordert eine schwierige Phasenabwicklung (*phase unwrapping*), welche in alpinen Regionen oft beinahe unmöglich ist.
- Die Kalibrierung der interferometrischen Phase benötigt Kontrollpunkte (*Ground*

Control Points, oder GCPs) in Form von Reflektoren, deren Positionen vermessen wurden, oder Messpunkte, die sowohl auf topographischen Karten als auch in SAR-Bildern erkennbar sind. Dadurch wird die Automatisierbarkeit von InSAR stark eingeschränkt.

- Regionen tiefer Kohärenz in Interferogrammen, die im *multi-pass* Fall aufgrund temporaler Dekorrelation, Vegetation und steiler Topographie auftreten, führen zu falschen oder sogar fehlenden Höhenwerten (Datenlöchern).

Obwohl ein Stereo-DSM nicht annähernd die Höhenauflösung eines InSAR DSMs bietet, wird in dieser Arbeit gezeigt, dass durch eine vorangehende Prozessierung eines Stereo-Paares für die gleiche Szene die Phasenabwicklung, die Phasenkalibrierung und das Beseitigen fehlender Höhenwerte die InSAR Prozessierungskette unterstützen kann. Je nach Szene, Aufnahmeparameter und Prozessierungsalgorithmen stellen diese drei Schwächen sehr oft ein Problem dar. Mit dem in dieser Arbeit vorgestellten Stereo-SAR-Verfahren ist es möglich, jeden dieser Punkte separat anzusprechen, wodurch die Technik sehr flexibel und auf viele Fälle anwendbar wird.

Der Kern der Stereo-Prozessierungskette ist ein *wavelet*-basierter *Multiresolution-Matching* Algorithmus. Das Multiresolution Verfahren stellte sich bei den SAR-Bildspezifischen Problemen als erfolgreich heraus, insbesondere unter der Annahme der *slant-range* Geometrie (Schrägentfernung) und des *Speckle*-Rauschens. Es traten jedoch Probleme auf, wenn SAR-Bilder mit starkem Radarschatten bzw. *Layover* prozessiert wurden. Während des *Matchings* wird außerdem ein nützliches Nebenprodukt produziert: Die so genannte *match confidence*, welche eine Schätzung der Qualität der Höhenwerte liefert. Diese wird nachher während der automatischen Suche nach GCPs sowie für das Füllen von Lücken verwendet.

Die vorgestellte Technik ist besonders für diejenigen Fälle geeignet, in welchen entweder kein digitales Höhenmodell (DHM) be-

reits vorliegt oder ein vollautomatisiertes Verfahren erwünscht ist. Weil immer mehr Stereo- und InSAR-Daten vorliegen, die auf satelliten- sowie flugzeuggestützten Systemen basieren, werden die Möglichkeiten zunehmen, die beiden Techniken zu kombinieren.

Drei Testgebiete wurden im Rahmen dieser Arbeit untersucht; in allen drei Fällen lagen Stereo- sowie InSAR-Aufnahmen vor. Interferometrische Daten wurden über zwei Gebieten in der Nähe von Bern bzw. Luzern von zwei flugzeuggestützten X-Band-Sensoren in *cross-track* Konfiguration bearbeitet. Es wurden parallele Flugtracks geflogen, deren Abstand speziell für Stereo-SAR geeignet war. Satellitengestützte SAR-Daten wurden ebenfalls verwendet. Ein größeres Gebiet zwischen Luzern und Zürich in der Schweiz war das dritte Testgebiet. Von diesem Gebiet wurden Stereodaten der *swaths* IS3 und IS6 des *Advanced SAR* (ASAR) Sensors verwendet. ASAR ist ein C-Band Sensor auf dem von der Europäischen Weltraumorganisation (ESA) betriebenen Satelliten ENVISAT. Die interferometrischen Daten stammen von den Fernerkundungssatelliten ERS-1 und -2 der ESA. Es wurde ein C-Band Interferometrie-Paar verwendet, welches im *tandem*-Modus mit einem zeitlichen Abstand von einem Tag aufgenommen wurde.

DSMs wurden für die flugzeug- sowie satellitengestützten Daten berechnet, indem Stereo und InSAR sowohl separat als auch kombiniert eingesetzt wurden. Die Resultate wurden mit den besten Referenzdaten (DSMs, DHMs, und GCPs) verglichen, die für die Testgebiete erhältlich waren. Für jeden Fall wurde die optimale Kombination von Stereo- und InSAR definiert.

Die Grenzen der stereoskopischen Technik wurden untersucht, indem Simulationen der Radarrückstreuung durchgeführt wurden. Diese Simulationen basierten auf einem Referenz-DSM und den nominalen Rückstreuoeffizienten, die vom DSM aus auf die *slant-range* Ebene projiziert wurden. Zudem wurden Stereopaare aus unterschiedlichen Kombinationen von Einfallswinkeln für den flugzeuggetragenen Sensor berechnet. Auf-

nahmen, die beide bei gleichen Einfallswinkeln von 45 Grad und von derselben Blickrichtung aufgenommen wurden, haben sich am besten für das vorgestellte Stereoverfahren erwiesen. Die verwendeten realen Daten von den flugzeuggestützten X-Band-Sensoren wurden in sehr guter Näherung in dieser optimalen Konfiguration aufgenommen.

In den flugzeuggestützten Fällen wurde festgestellt, dass bei der Phasenabwicklung die Unterstützung von Stereo-Daten nicht nötig war, solange das Gebiet eine flache bis leicht hügelige Oberfläche aufweist. Dies sind Gebiete mit sich nur langsam räumlich ändernder interferometrischer Phase. Jedoch bot auch in solchen Fällen das Stereo-Verfahren die Möglichkeit, die Kalibrierung der Phase und der Basislinie automatisch durchzuführen. Falls zuletzt noch Lücken im InSAR-DSM übrig blieben, wie es zum Beispiel über Waldregionen oft der Fall sein kann, war es mit der stereo-kombinierten Methode möglich, die Löcher teilweise mit gültigen Höhenwerten zu füllen, ohne die Qualität des DSMs wesentlich zu reduzieren.

Der Einsatz des Stereo-DSMs bei der Phasenabwicklung für den satelliten-gestützten Fall hat sich hingegen als sehr vorteilhaft erwiesen, weil sich die Phase in alpinen Regionen für die vorhandene *phase-unwrapping* Software zu schnell änderte. Stereo-basierte Phasenkalibrierung und das Füllen von Lücken waren hier ebenfalls von Vorteil.

Für alle Fälle, die studiert wurden, waren die InSAR Ergebnisse, die mithilfe von Stereo-SAR gerechnet wurden, besser als diejenigen, die ohne Stereo-SAR prozessiert wurden. Außerdem erfordert die beschriebene Methode weder Reflektoren noch Kontrollpunkte, die bei alleiniger Verwendung von InSAR nötig gewesen wären. Somit wurde eine wichtige Grundlage für eine vollautomatische Prozessierungskette geschaffen.

Technische Universität Wien

Dipl.-Ing. CHRISTIAN BRIESE promovierte im November 2004 an der TU Wien mit der

Arbeit: *Bruchkanten Modellierung aus flugzeuggetragenen Laserscanner Daten (Breakline Modeling from Airborne Laser Scanner Data)* zum Dr. techn.

1. Begutachter: Prof. Dr. KARL KRAUS, TU Wien, 2. Begutachter: Prof. Dr. HANS-GERD MAAS, TU Dresden

Kurzfassung

Das flugzeuggetragene Laserscanning (Airborne Laser Scanning, ALS) ermöglicht eine äußerst dichte großflächige Abtastung der Landschaftsoberfläche aufgrund des hohen Automatisierungsgrades. Auf Basis der aufgenommenen Punktwolke werden in der Folge Rastermodelle, Gittermodelle oder Triangulationen erstellt, die Bruchkanteninformation nur implizit beinhalten. Zur Ableitung hochqualitativer Oberflächenmodelle ist es hingegen notwendig, diese Bruchkanteninformation explizit in der Modellierung zu berücksichtigen und anschließend in die Datenstruktur des resultierenden Oberflächenmodells zu integrieren. Daher ist eine explizite Modellierung der Bruchkanten auf Basis einer 3D Vektor Repräsentation notwendig.

Der Schwerpunkt dieser Arbeit liegt in der Entwicklung von Methoden zur Ableitung von Bruchkanten aus Laser-Scanner-Daten. Am Anfang dieser Überlegungen steht eine Methode, die die Beschreibung von Bruchkanten auf Basis von umgebenden Punkten unabhängig von der Datenerfassungsmethode ermöglicht. Schrittweise wird dieses Basiskonzept verfeinert, um schlussendlich die Beschreibung der Bruchkanten auf Basis von unklassifizierten zufällig verteilten ALS-Punkten durchzuführen. Die aus dieser Erweiterung resultierende Methode beschreibt Bruchkanten als Schnittlinie von robust bestimmten analytischen Flächenpaaren, die auf Basis der Punkte in der Nähe der Bruchkante bestimmt werden. Durch die automatische robuste Elimination der Nicht-Bodenpunkte im Zuge der Flächenbestimmung wird eine Modellierung der Bruchkanten in bewaldeten Gebieten ermöglicht. Dieser Algorithmus benötigt zur Bestimmung der 3D Kante

eine 2D Näherung der gesamten Bruchkante. Daher werden im Folgenden Strategien bzw. Lösungen angeführt, die eine stärkere Automatisierung der Bruchkantenbestimmung ermöglichen und so die Praxistauglichkeit erheblich erhöhen. Neben dem semi-automatischen Wachsen der Kanten werden auch einige Ansätze zur Vollautomatisierung vorgestellt.

Ein Abschnitt mit praktischen Beispielen demonstriert die Anwendbarkeit der entwickelten Methoden und geht neben der reinen Modellierung auch auf die Integration der Kanten in die Oberflächenmodellierung und auf die anschließende Datenreduktion ein. Um die vielseitigen Anwendungen der Methode zu präsentieren, folgen Beispiele aus der automatischen Bildzuordnung der Marsoberfläche (image matching) und aus dem Bereich des terrestrischen Laserscan-

nings (TLS). Zusätzlich zu den topographischen Anwendungen wird ein kleines Beispiel der Gebäudekantenmodellierung auf Basis von TLS-Daten vorgestellt.

Neben dem Schwerpunkt der Bruchkantenmodellierung widmet sich ein Teil der Arbeit dem aktuellen Stand der Forschung im Bereich ALS, Oberflächenmodellierung und Bruchkantenmodellierung, während sich ein weiterer Abschnitt mit der ALS-Datenaufnahme genauer auseinandersetzt. Neben einer genaueren Betrachtung der Methoden zur Entfernungsbestimmung wird das Abtastverhalten der ALS-Sensoren unter der Berücksichtigung der Größe des Abtastflecks untersucht. Abschließend werden, neben einem Ausblick auf zukünftige Forschungsaktivitäten, die Methoden und Ergebnisse zusammengefasst.

Vorankündigungen

2005

17.–19. August: **13th International Conference on Geoinformatics: Coping Disaster across Continents in Toronto**. Auskünfte durch: Dr. Songnian Li, Tel.: +1-416-979 5000#6450, Fax: +1-416-979-5122, e-mail: geoinfo5@ryerson.ca, www.ryerson.ca/geoinformatics2005

18./19. August: **EuroSDR Seminar on Automated Checking of DTMs** in Aalborg, Dänemark. Auskünfte durch: Prof. Joachim Höhle, Tel.: 45-9635 8361, e-mail: mailto: jh@land.aau.dk > jh@land.aau.dk http://www.land.aau.dk/~jh/dtm_checking/

20.–24. August: **8th International Symposium on Advanced Vehicle Control in Taipei**, Taiwan. Auskünfte durch: Mr. Po-Hsu Lin, e-mail: d917724@0z.nthu.edu.tw, avec06.pme.nthu.edu.tw/

22.–24. August: **ISPRS WG V/4 Workshop 3D-Arch'2005. 3D Virtual Reconstruction and Visualization of Complex Architectures**

in **Mestre-Venice**, Italien. Auskünfte durch: Fabio Remondino, WG V/4 Co-Chair, e-mail: fabio@geod.baug.ethz.ch, www.3d-arch.org

22.–25. August: **MAPASIA 2005 in Jakarta**. Auskünfte durch Sekretariat Tel.: +65-6562 7983, Fax: +65-6562 7984, e-mail: info@mapasia.org, http://www.mapasia.org/

25./26. August: **ISPRS WG II/7 4th International Symposium on Spatial Data Quality in Beijing**. Auskünfte durch: Dr. John Shi (Chair WG II/7), e-mail: lswzshi@polyu.edu.hk, www.lsgu.polyu.edu.hk/issdq2005/

27.–29. August: **ISPRS WG II/1, 2, 7, VII/6 International Symposium on Spatialtemporal Modeling, Spatial Reasoning, Spatial Analysis, Data Mining & Data Fusion (STM'05) in Beijing**. Auskünfte durch: Prof. Dr. Xinming Tang (Co-chair WG II/1), Tel./Fax: +86-10-6824 5953, e-mail: tang@casm.ac.cn, isstm2005.casm.ac.cn

29./30. August: **Joint Workshop of ISPRS WG III/4, 5 and DAGM CMRT05 "Object Extraction for 3D City Models, Road Databases and Traffic Monitoring – Concepts, Algorithms, and Evaluation"** in **Wien**. Auskünfte durch: Dr. Franz Rottensteiner, University of New South Wales, Sydney, e-mail: f.rottensteiner@unsw.edu.au und Prof. Uwe Stilla, TU München, e-mail: stilla@bv.tu-muenchen.de, www.gmat.unsw.edu.au/wgiii4/ws05

29. August – 2. September: **AfricaGIS 2005** in **Johannesburg**, Südafrika. Auskünfte unter: www.africagis2005.org.za

31. August – 2. September: **DAGM 2005 – 27. Jahrestagung** der Deutschen Arbeitsgemeinschaft für Mustererkennung in **Wien**. Auskünfte durch: Conference Secretariat e-mail: dagm05@prip.tuwien.ac.at; Pattern Recognition & Image Processing Group, Institute of Computer Aided Automation, Vienna University of Technology, Favoritenstr. 9-183/2, A-1040 Vienna-Austria, Tel.: ++43-1-58801-18351, Fax: ++43-1-58801-18392, www.prip.tuwien.ac.at/dagm05/

5.–8. September: **ISPRS IC WG II/IV: 4th Workshop on Dynamic & Multidimensional GIS** in **Pontypridd**, Wales, UK. Auskünfte durch: Prof. Christopher Gold, e-mail: cmgold@glam.ac.uk

5.–9. September: **50. Photogrammetrische Woche 2005** in **Stuttgart**. Auskünfte durch: Martina Kroma, Tel.: +49-711-121 3386, Fax: +49-711-121 3297, e-mail: martina.kroma@ifp.uni-stuttgart.de, www.ifp.uni-stuttgart.de/aktuelles/veranstaltungen.html

6.–9. September: **RSPSoc 2005 Annual Conference "Measuring, Mapping & Managing a Hazardous World"** in **Portsmouth** University, UK. Auskünfte durch: Richard Teeuw, e-mail: richard.teeuw@port.ac.uk oder rpsoc@nottingham.ac.uk, http://www.rpsoc.org/calendar

7.–9. September: **1st International Conference on Remote Sensing & Geomatics in the**

Assessment and Monitoring of Land Degradation & Desertification (RGLDD) in **Trier**. Auskünfte durch: Achim Roeder, Tel.: +49-651-201-4606, Fax: +49-6 51-201-3815, e-mail: rgldd@uni-trier.de, http://www.feut.de/rgldd

12./13. September: **AgA-Tagung „Arbeitsgruppe Automation in der Kartographie“** der DGfK im Österreichischen Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen in **Wien**. Auskünfte und Einreichung von Beiträgen: www.ikg.uni-hannover.de/ega

12.–14. September: **ISPRS WG III/ 3, 4, V/3 Workshop Laserscanning 2005** in **Enschede**, Niederlande. Auskünfte durch: George Vosselman, Tel.: +31-53-487-4344, Fax: +31-53-487-4335, e-mail: vosselman@itc.nl, www.itc.nl/isprswgIII-3/laserscanning 2005

14.–16. September: **ISGI 2005 – International Symposium on Generalization of Informatic** in **Berlin**. Auskünfte: www.horstkremers.de/ISGI, e-mail: office@horstkremers.de

21.–23. September: **53. Kartographentag der DGfK** und **25. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPf** als gemeinsame Jahrestagung mit dem Thema „**Aufbruch ins Geo-Government**“ in **Rostock**. Auskünfte durch: www.dgpf.de, www.dgfk.net, www.auf.uni-rostock.de/gg

27. September – 1. Oktober: **XX International Symposium CIPA 2005** in Kooperation mit ICOMOS und ISPRS **"International Cooperation to save the World's Cultural Heritage"** in **Torino**, Italien. Auskünfte durch: ACTA Congresses and Events, Tel.: +39-11-591871, Fax: +39-11-590833, e-mail: info@actacongress.com; http://www.cipatorino2005.org

1.–8. Oktober: **55. Deutscher Geographentag „Grenzwerte“** in **Trier**. Auskünfte durch: Prof. Dr. Johannes Ries, e-mail: riesj@uni-trier.de, Prof. Dr. Ulrike Sailer, e-mail: sailer@uni-trier.de

- 3.–5. Oktober: 7th International **Conference on Optical 3-D Measurement Techniques and ISPRS WG V/1 Session in Wien**. Auskünfte durch: Conference secretary, e-mail: conf@pop.tuwien.ac.at und Prof. Thomas Luhmann (WG V/1), e-mail: luhmann@fh-oldenburg.de, wien.ac.at/ingeo/optical3d/o3d.htm
- 3.–6. Oktober: 7th **Annual Forest Inventory and Analysis Symposium in Portland, MN, USA**. Auskünfte durch: Dr. Ronald E. McRoberts, Tel.: +1-651-649-5174, Fax: +1-651-649-5285, e-mail: rmcroberts@fs.fed.us, http://www.fs.fed.us/
- 4.–6. Oktober: **INTERGEO 2005 unter dem Motto „Grenzen überschreiten“ in Düsseldorf**. Auskünfte durch e-mail: intergeo2005@stadt.duesseldorf.de, www.dvw.de, www.intergeo2005.de und www.hinte-messe.de
- 6./7. Oktober: **Universitätslehrgang Laser-scanning – Data Acquisition and Modeling an der Technischen Universität Wien**. Auskünfte: http://wien.ipf.tuwien.ac.at/events/unil_laser_2005.html
- 6.–8. Oktober: 1th International **Symposium on Cloud-prone and Rainy Areas Remote Sensing (CARRS2005) in HongKong**. Auskünfte durch: Ms. Chloris Yip, Tel.: +852-2609 6538, Fax: +852-2603 7470, e-mail: jlgis@cuhk.edu.hk, www.jlgis.cuhk.edu.hk/events/events/CARRS2005/
- 14.–16. Oktober: **ISPRS WG IV/1, 8, IC WG II/IV Workshop on Service and Application of Spatial Data Infrastructure in Hangzhou, China**. Auskünfte durch: Dr. Jie Jiang, Tel.: +86-10-6848-3218, Fax: +86-10-6842-4101, e-mail: jjie@nsdi.gov.cn und e-mail: jiangjie_263@263.net, www.isprs-wg41.nsd.gov.cn
- 15./16. Oktober: **ISPRS WG III/1, III/2 Workshop BenCOS “Towards Benchmarking Automated Calibration, Orientation and Surface Reconstruction from Images” in Beijing**. Auskünfte durch: Camillo Ressel (Chair WG III/1), Tel.: +43-1-58 801 122 34, Fax: +43-1-58 801 122 99, e-mail: car@ipf.tuwien.ac.at, www.ipf.tuwien.ac.at/isprs/wgiii1/ws2005_wg12.html
- 17.–19. Oktober: **ISPRS WG VII/1: 9th International Symposium Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing (ISPMSRS) in Beijing**. Auskünfte durch: Dr. Shunlin Liang (Co-chair WG VII/1), Tel.: +1-301-405-4556, Fax: +1-301-314-9299, e-mail: sliang@geog.umd.edu, http://www.ISPMSRS2005.org
- 16.–18. Oktober: **SilviScan – Lidar Applications in Forest Assessment and Inventory in Blacksburg, Virginia, USA**. Auskünfte durch e-mail: ross.f.nelson@nasa.gov
21. Oktober: **ISPRS IC WG III/V: 6th Workshop on Omnidirectional Vision, Camera Networks & Non-classical Cameras (OMNIVI S2005) in Beijing**. Auskünfte durch: Marc Pollefeys, e-mail: marc@cs.unc.edu oder Xianghua Ying, e-mail: xhying@cis.pku.edu.cn, www.eecs.berkeley.edu/~cgeyer/OMNI_VIS05/
- 23.–27. Oktober: **PECORA 16, The William T. Pecora Memorial Symposium “Global Priorities in Land Remote Sensing” in Sioux Falls, SD**. Auskünfte durch: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, www.asprs.org
30. Oktober – 2. November: 2. Internationales **Alfred Wegener Symposium in Bremerhaven** anlässlich des 125-jährigen Geburtstages und 75-jährigen Todestages von Alfred L. Wegener. Auskünfte: www.alfred-wegener-symposium.de
31. Oktober – 2. November: 4th International **Symposium on Multispectral Image Processing & Pattern Recognition in Wuhan, China**. Auskünfte durch: Ms. Shi Lite, Tel./ Fax: +86-27-6877-8969, e-mail: lilyshi@mail.liesmars.wtusm.edu.cn, www.liesmars.wtusm.edu.cn
- 3./4. November: International **Symposium on Modern Technologies, Education & Professional Practice in Geodesy & Related**

Fields in Sofia, Bulgarien. Auskünfte durch: Prof. Dr. G. Milev, Tel.: +359-2-870-0406, Fax: +359-2-987-9360, e-mail: milev@bas.bg

21.–25. November: 8th **South East Asian Survey Congress in Brunei**. Auskünfte durch: Congress Secretariat, Tel.: +673-2-238 2005, Fax: +673-2-238 2185, e-mail: secretarygeneral@seasc2005.org.bn, www.seasc2005.org.bn

30. November – 2. Dezember: 2nd International Conference “**Earth from Space – the Most Effective Solutions**” in **Moskau**. Auskünfte durch: Polina Glazyrina, e-mail: polina@scanex2.ss.msu.ru und Conference Secretary, Tel./Fax: +7-095-939-4284, e-mail: conference@scanex.ru, www.transparentworld.ru/conference/

9./10. Dezember: **Geokosmos 4th International Conference and Exhibition in Moskau**. Auskünfte unter: inna_bartchan@geokosmos.ru

2006

13.–15. Februar: **ISPRS WG VIII/11 & EARSeL joint Conference „3D Remote Sensing in Forestry“ in Wien**. Auskünfte durch: Prof. Werner Schneider, Tel.: +43-1-47654-5100, e-mail: werner.schneider@boku.ac.at, http://ivfl.boku.ac.at/3DRSFForestry

1.–3. März: 11. **Münchener Fortbildungsseminar „Geoinformationssysteme“ in München**. Leitung: Prof. Dr. M. Schilcher. Auskünfte durch: Runder Tisch GIS e.V. und TU München, FG Geoinformationssysteme, Arcisstr. 21, 80290 München. http://www.runder-tisch-gis.de, Tel.: +49-89-2892 28 49, Fax: +49-89-2892 28 78; e-mail: roland.dietrich@bv.tum.de

29.–31. März: 5th International Symposium **Turkish-German Joint Geodetic Days in Berlin**. Auskünfte durch: Prof. Dr. Lothar Gründig, Tel.: +49-30-3142 2375, e-mail: gruendig@inge3.bv.TU-Berlin.de

30. April – 4. Mai: **ASPRS Annual Conference in Reno**, Nevada, USA. Auskünfte durch: ASPRS, Tel.: +1-301-493-0290, Fax: +1-301-493-0208, e-mail: asprs@asprs.org, www.asprs.org/asprs/meetings/calendar.html

8.–11. Mai: 5th International Symposium **Mobile Mapping Technology (MMT 2006)** in **Padua**, Italien. Auskünfte durch: Prof. A. Vettore, e-mail: antonio.vettore@unipd.it oder Prof. N. El-Sheimy, e-mail: elsheimy@ucalgary.ca, www.cirgeo.unipd.it/sitoCIR-GEO/mmt_frst.html

8.–12. Mai: **ISPRS Mid-term Symposium Commission VII in Enschede**, Niederlande. Auskünfte durch: Prof. John van Genderen, e-mail: genderen@itc.nl; http://www.commission7.isprs.org

8.–10. Juni: **Geomatiktage 2006 in Luzern**. Auskünfte durch: SGPBF, www.igs-gfsvvk.ch/d/oeffentlichkeit/veranstaltungen/findex.html

31. Juli – 4. August: **IEEE/IGARSS 2006 in Denver**, CO, USA. Auskünfte durch: Ms. Lisa A. Ostendorf, Tel.: +1-540-658-16 76, Fax: +1-540-658-1686, e-mail: ieeegrss@adelphia.net, http://www.igarss06.org

3.–7. September: **ISPRS Mid-term Symposium Commission VIII “Remote Sensing Applications and Policies” in Haifa**, Israel. Auskünfte durch: Ammatzia Peled, Pres. Comm.VIII, e-mail: peled@geo.haifa.ac.il, http://www.commission8.isprs.org

18.–22. September: **ISPRS Mid-term Symposium Commission III “Photogrammetric Computer Vision 2006” in Bonn**. Auskünfte durch: Prof. W. Förstner, Pres. Comm.III, e-mail: wf@ipb.uni-bonn.de, http://www.commission3.isprs.org

25.–27. September: **ISPRS Mid-term Symposium Commission V “Image Engineering and Vision Metrology” in Dresden**. Auskünfte durch: Prof. H.-G. Maas, Pres. Comm.V, e-mail: hmaas@rcs.urz.tu-dresden.de, http://www.commission5.isprs.org

8.–13. Oktober: XXIII. Internationaler **FIG – Kongress** in **München**. Auskünfte durch: FIG Office, Tel.: +45-38-861081, Fax: +45-38-86 0252, e-mail: fig@fig.net und Thomas Gollwitzer, Kongressdirektor, Tel.: 49-9-41 4022-200, Fax: +49-9-414022-101, e-mail: congress.director@fig2006.de

9.–13. Oktober: **IX Global Spatial Data Infrastructure Conference** in **Santiago**, Chile. Auskünfte durch: Instituto Geografico Militar (IGM), e-mail: gsdi9@igm.cl, www.igm.cl

10.–12. Oktober: **INTERGEO 2006** in **München**, Messegelände. Kongressdirektor: Dipl.-Ing. Walter Henninger. Auskünfte

durch: e-mail: www.dvw.de, www.intergeo2006.de und www.hinte-messe.de

10.–13. Oktober: **ISPRS Mid-term Symposium Commission IV “Geospatial Databases for Sustainable Development”** in **Goa**, Indien. Auskünfte durch: Shailesh Nayak, Pres. Comm.IV, e-mail: snaykad1@sancharnet.in, <http://www.commission4.isprs.org>

2008

14.–25. Juli: 21. **ISPRS Kongress** in **Beijing**, China. Auskünfte durch: CSGPC, Tel.: +86-10-6833 9005, Fax: +86-10-6831 1564, e-mail: fanbsm@public.bta.net.cn, <http://www.isprs2008-beijing.com>

Zum Titelbild



Das Landesluftbildarchiv am Bayerischen Landesvermessungsamt – Luftbild-Zeitreihe „München – Riem“

Luftbilder enthalten eine Fülle von Informationen zur Dokumentation des aktuellen Zustandes der Landschaft zum Zeitpunkt der Aufnahme und stellen eine wertvolle Hilfe für Nachforschungen, Erhebungen

und Planungen aller Art dar. Diese Erkenntnis führte im Jahre 1975 zur Einrichtung der Luftbilderfassungsstelle und des Landesluftbildarchivs beim Bayerischen Landesvermessungsamt (BLVA). Dadurch sollen Bildflugvorhaben aufeinander abgestimmt und vorhandenes Bildmaterial noch besser verfügbar gemacht und genutzt werden.

Die *Luftbilderfassungsstelle* registriert die wesentlichen Daten aller in Bayern durchgeführten und geplanten Bildflüge und gibt jährlich im März ein „Verzeichnis der Bildflüge in Bayern“ und auf der Grundlage der ÜK500 eine „Bildflugübersicht“ heraus, in denen die im vorangegangenen Jahr durchgeführten und die für das laufende Jahr geplanten Bildflüge dokumentiert sind. Neuerdings steht das Verzeichnis der Bildflüge im Internet (<http://www.blva.bayern.de> bzw. <http://www.geodaten.bayern.de/>) zur Einsicht und zum Download zur Verfügung. Das Angebot wird ergänzt durch eine grafische Übersicht der durch die einzelnen Bildflüge abgedeckten Gebiete. Eine weitere Aufgabe der Luftbilderfassungsstelle besteht in der digitalen Erfassung der Mittel-

punkte aller im Archiv vorhandenen Luftbilder. Dieses Projekt ist nahezu abgeschlossen; die Bildmittelpunkte und die zugehörigen Metadaten der Luftbilder können intern über ein Auskunftssystem abgefragt werden (ILIAS – Interaktives Luftbild-Informations- und Auskunfts-System). An eine künftige Bereitstellung im Internet ist gedacht.

Das *Landesluftbildarchiv* hat die Aufgabe, die Originalaufnahmen möglichst aller in Bayern mit Reihenschichtkameras durchgeführten Bildflüge zu sammeln – beschränkt auf Senkrechtaufnahmen. Das betrifft nicht nur Befliegungen für Zwecke der Landesvermessung; auch die anderen staatlichen Stellen sind gehalten, die in ihrem Auftrag erstellten Originalfilme nach Abschluss der Auswertungen dem BLVA zur Einreihung in das Landesluftbildarchiv zu überlassen; nichtstaatlichen Stellen wird empfohlen, ebenso zu verfahren – ein Angebot, das auch in großem Umfang genutzt wird.

Waren 1975 schon etwa 100 000 Luftbilder aus 847 Flügen erfasst, ist dieser Bestand bis zum Ende des ersten Quartals 2005 auf nahezu 758 000 Bilder aus mehr als 9 400 Flügen angewachsen (jährlicher Zuwachs mittlerweile bis zu 25 000 Bilder). Den größten Anteil machen die Bilder der so genannten „Bayernbefliegung“ aus, die seit 1987 systematisch durchgeführt wird.

Daneben verfügt das Landesluftbildarchiv inzwischen auch über eine Vielzahl historischer Luftbilder aus unterschiedlichen Quellen. Die ältesten Aufnahmen gehen zurück auf Aufklärungsflüge der Alliierten in den Jahren 1941–1945; gerade dieses Bildmaterial aus dem zweiten Weltkrieg und der Zeit unmittelbar danach ist heute sehr wertvoll für Altlastenuntersuchungen, z. B. zum Auffinden von Blindgängern. Die Beschaffung dieser inzwischen fast 60 000 Bilder erfolgte seit Ende der 80er-Jahre in mehreren Aktionen gemeinsam mit dem für den Kampfmittelräumdienst zuständigen Bayerischen Staatsministerium des Inneren. Es handelt sich dabei um Kopien aus den Beständen der englischen Universität Keele (<http://www.evidenceincamera.co.uk>) und dem Nationalarchiv der U.S.A. in Wa-

shington, DC, die durch Vermittlung der LUFTBILDDATENBANK – Ing. Büro Dr. Carls[®] (<http://www.luftbilddatenbank.de/>) erworben werden konnten.

Die dargestellte Luftbild-Zeitreihe dokumentiert die Entwicklung des Geländes des ehemaligen Flughafens „München-Riem“. Mit dem Bau des Flughafens war 1936 begonnen worden; das Datum der offiziellen Eröffnung fällt mit einem tragischen historischen Ereignis zusammen dem deutschen Angriff auf Polen am 1. September 1939 (Zitat aus: „Nur der Tower steht noch“, Süddeutsche Zeitung (SZ) Nr. 71/2005 vom 29. März 2005, S. 43). Am 25. Oktober 1939 wurde der Flugverkehr aufgenommen. München-Riem war zu dieser Zeit einer der modernsten Flughäfen der Welt (Quelle: <http://www.melifon.de/Flughafen%20München-Riem; Zugriff am 01.04. 2005>).

Die erste Abbildung besteht aus einer Montage von drei Aufklärungsbildern, davon zwei aus dem Jahre 1942 und eines von 1943. Das nächste Bild wurde ebenfalls aus drei Einzelbildern montiert, die am 09.04. 1945 – also kurz vor Kriegsende – aufgenommen wurden und die Zerstörungen durch Bombardierung dokumentieren. „Die im Krieg schwer beschädigten Flughafengebäude wurden 1945 von den Amerikanern übernommen, die die Anlage als Militär-Airport nutzten. Erst im Mai 1946 startete erstmals wieder eine Verkehrsmaschine.“ (SZ) München-Riem war nach Kriegsende der erste wieder vollständig für die zivile Luftfahrt verwendbare Flughafen in Deutschland.

Das dritte dargestellte Luftbild stammt von 1963; im gleichen Jahr wurde mit der Suche nach einem Standort für einen neuen Flughafen begonnen, da absehbar war, dass ein weiterer Ausbau rechtlich, politisch und tatsächlich nur schwer durchführbar sein würde. Auf der vierten Abbildung aus dem Jahr 1988 befindet sich der Flughafen noch in Betrieb. „Ein jahrelanges Hickhack um Standort und Dimensionierung mündete schließlich in jene berühmte Umzugsnacht vom 16. auf den 17. Mai 1992, in der der komplette Flughafen von Riem ins Erdinger Moos wechselte“ (SZ).

„München-Riem wurde anschließend stillgelegt. Es erfolgte eine Zwischennutzung für Großveranstaltungen wie Konzerte und Raves. Insbesondere in der Techno- und der alternativen Rockszene war der Flughafen Riem international bekannt. Die Umgestaltung des Flughafengeländes zum neuen Stadtviertel „Messestadt Riem“ (<http://www.messestadt-riem.com/>) war eines der größten städteplanerischen Projekte der Landeshauptstadt München in den letzten 10 Jahren. Nur das denkmalgeschützte Towergebäude sowie die Wappenhalle (ehemaliges Terminalgebäude) erinnern noch an den Flughafen.“ (nach „www.melifon.de/“)

Die fünfte und letzte Abbildung besteht aus einem digital entzerrten und bearbeiteten Orthophoto-Mosaik, abgeleitet aus der

aktuellen Bayernbefliegung (Flugdatum: 14.07. 2003). Sie zeigt in der Mitte der nördlichen Hälfte die „Neue Messe München“ (<http://www.messe-muenchen.de/>) sowie die östlich und westlich daran anschließenden Gewerbegebiete. Im südwestlichen Quadranten ist der bereits fertig gestellte Bereich mit Wohneinheiten, Grünanlagen und dem Einkaufszentrum „Riem-Arkaden“ zu erkennen. Der südöstliche Teil mit weiteren Wohnanlagen befindet sich noch im Bau. Halbringförmig von Südosten bis Westen wird das Ganze im Süden umschlossen vom Gelände der „Bundesgartenschau München 2005“ (BUGA05, <http://www.buga05.de/>), das sich hier noch als Baustelle darbietet.

PETER REIß, München
e-mail: Peter.Reiss@blva.bayern.de

Neuerscheinungen

RAMAN PRINJA, 2005: Das Universum. Faszinierende Entdeckungen im All. Aus dem Englischen von Christoph Arndt. 192 S. mit 100 Farbfotos. Gebunden mit SU. Primus Verlag Darmstadt. www.primusverlag.de. ISBN 3-89678-260-6. Einführungspreis 29,90 €, ab 2006: 36,00 €

NORBERT BARTELME, 2005: Geoinformatik. Modelle, Strukturen, Funktionen. 4., vollst. überarb. Aufl. X, 454 S., 146 Abb. Broschiert. Springer-Verlag GmbH & Co. KG, Tiergartenstraße 17, 69121 Heidelberg. ISBN 3-540-20254-4. € 46,95

JOSEF STROBL, THOMAS BLASCHKE & GERALD GRIESEBNER (Hrsg.), 2005: Angewandte Geoinformatik 2005. Beiträge zum 17. AGIT-Symposium Salzburg. Kartoniert.

Herbert Wichmann, Hüthig Fachverlage, Heidelberg. Bestellungen: e-mail: kundenservice@huethig.de; ISBN 3-87907-422-4.

PETER FISCHER-STABEL (Hrsg.), 2005: Umweltinformationssysteme. XVIII, 290 S., Softcover Herbert Wichmann, Hüthig Fachverlage, Heidelberg. Bestellungen: e-mail: kundenservice@huethig.de; ISBN 3-87907-423-2. € 34,00

HANS-PETER BÄHR & THOMAS VÖGTLE (Hrsg.), 2005: Digitale Bildverarbeitung. Neue Entwicklungen in Photogrammetrie, Fernerkundung und GIS. 4., völlig neu bearb. Aufl. ca. 400 S., Softcover. Herbert Wichmann, Hüthig Fachverlage, Heidelberg. Bestellungen: e-mail: kundenservice@huethig.de; ISBN 3-87907-409-7.