

PRG

Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation

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

Jahrgang 2005, Heft 1

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 1

Inhaltsverzeichnis

Ausgewählte Originalbeiträge zur Geodatenverarbeitung an der TU Dresden

PRECHTEL, N. & BUCHROITHNER, M.: Ausgewählte Aktivitäten in der Geodatenverarbeitung an der Fakultät Forst-/ Geo-/ Hydrowissenschaften der Technischen Universität Dresden. Editorial	5
SCHWIEBUS, A., LORENZ, A. & BERGER, F.H.: Validated surface solar radiation inferred from NOAA-AVHRR and Meteosat-8 SEVIRI data	7
BECKER, T., MAERKER, L., MOLDENHAUER, A., LORENTZ, H., LOHMEYER, A. & WOLF, U.: Fachinformationssystem IMMIKART-GIS für die flächendeckende Immissionsabschätzung im Freistaat Sachsen – Modul IMMIKART-Außerortstraßen ...	17
STÜMER, W. & KÖHL, M.: Kombination von terrestrischen Aufnahmen und Fernerkundungsdaten mit Hilfe der »k-Nächste-Nachbarn-Methode« zur Klassifizierung und Kartierung von Wäldern	23
PRECHTEL, N. & LONDERSHAUSEN, K.: Animating Geodata Exemplified by the Dresden „Altai-GIS“	37
BUCHROITHNER, M., HABERMANN, K. & GRÜNDEMANN, T.: Modeling of Three-Dimensional Geodata Sets for True-3D Lenticular Foil Displays	47

Originalbeiträge

GRÜN, A. & REMONDINO, F.: Die Rückkehr der Buddhas – Photogrammetrie und kulturelles Erbe in Bamiyan, Afghanistan. Teil I	57
TUFTE, L., TRIESCHMANN, O., HUNSÄNGER, T. & BARJENBRUCH, U.: Fernerkundungstechnik zum Erkennen und Überwachen von Öl auf der Meeresoberfläche der Nord- und Ostsee	69
THIEL, C.: Zusammenstellung und Interpretation relevanter SAR-immanenter Spezialfälle der Radarrückstreuung am Beispiel einer hoch aufgelösten polarimetrischen L-Band Szene	79

Berichte und Mitteilungen

Berichte:	
41. AgA-Sitzung „Automation in der Kartographie“	85
INTERGEO 2004	87
Vorankündigungen	89
Zum Titelbild	94

Ausgewählte Aktivitäten in der Geodatenverarbeitung an der Fakultät Forst-/Geo-/Hydrowissenschaften der Technischen Universität Dresden

NIKOLAS PRECHTEL & MANFRED BUCHROITHNER, Dresden

Keywords: GeoInformatics, Geo-data processing, Dresden University of Technology, Faculty of Forest-, Geo- and Hydro Sciences

Die Technische Universität Dresden ist über Lehr- und Forschungsaufgaben ihrer Fakultät Forst-/Geo-/Hydrowissenschaften intensiv mit der Geodatenverarbeitung verbunden; dies mit unterschiedlichen Schwerpunkten hinsichtlich Theorie, Methodik und Untersuchungsobjekten, aber auch erkennbaren Konvergenzen. Mit gewisser Berechtigung kann man die Geodatenverarbeitung als eine inhaltlich-methodische Klammer dieser Fakultät bezeichnen, die – relativ unkonventionell – natur-, ingenieur- und sozialwissenschaftlich ausgerichtete Lehrstühle vereint. Einem gedachten Datenstrom folgend, reichen Aktivitäten von der Sensorik, also einer primären Geodatenquelle, über alle Stufen einer Datenveredelung, -auswertung und -integration bis zur Kommunikationsschnittstelle mit Nutzern von Geoinformation. Der in diesem Heft verfügbare Raum erlaubt nur Schlaglichter auf Tätigkeitsfelder, bindet dabei aber bewusst Beiträge aus allen drei Fachrichtungen – Forstwissenschaften (STÜMER et al.), Hydrowissenschaften (SCHWIEBUS et al.) und Geowissenschaften (BECKER et al., BUCHROITHNER et al., PRECHTEL & LONDERSHAUSEN) – ein.

Will man den Fokus der Teilglieder und Wissenschaftler der Fakultät im Bereich Geodatenverarbeitung vermitteln, so kann dies hier nur über eine unvollständige Nennung von Schlüsselbegriffen erfolgen. Unter Verweis auf das von H.-G. MAAS edierte Heft 4 des PFG-Jahrganges 2004 sei mit Laserscanning als einem photogrammetrischen Forschungsfeld begonnen. Ein weiterer Schwerpunkt des Institutes für Photo-

grammetrie ist die Nutzung von Fernerkundungsdaten für Informationssysteme des Naturschutzes (z. B. Nationalpark Sächsische Schweiz). In diesem Arbeitsfeld bestehen Berührungspunkte zum Institut für Kartographie; innerhalb des „Altai-Projektes“ ist die Integration von Geoinformation aus Bild- und Vektordaten zu einem multifunktionalen ökologischen GIS wesentlich. Die Erfassung großräumiger Geodynamik als Kernthema am Institut für Planetare Geodäsie umfasst in zentraler Rolle GPS-Präzisionsmessungen, aber auch die Nutzung bildgebender Fernerkundungssysteme, z. B. zur Ermittlung von Eis- und Krustendynamik über RADAR-Interferometrie. Das Stichwort GPS leitet zu einem Hauptaktionsfeld des Geodätischen Instituts über (vgl. z. B. PFG 2003, Heft 4). Anwendungsseitig bestehen hier Verbindungen zu den Aufgaben und Anforderungen der Landesvermessung, mithin auch zu deren digitalen Geodatenprodukten.

Naturgemäß ist die Nutzung von Fernerkundungsdaten (optische und RADAR-Sensoren) an den forstlichen Instituten (z. B. am Institut für Waldwachstum und Forstliche Informatik) primär auf Waldparameter in verschiedenen Maßstabsebenen ausgerichtet (vgl. z. B. PFG 2001, Heft 2). Geoinformationstechnologie beschäftigt aber nicht nur die Forstliche Informatik, sondern z. B. auch Forstökonomie und Forsteinrichtung. Den Link von der Erdoberfläche zur Atmosphäre liefert die Meteorologie, die generell als ältester operationeller Nutzer der Fernerkundung gelten kann und in Dresden

eine Arbeitsgruppe Fernerkundung und Wolkenprozesse unterhält. Als Forschungsbeispiel kann das Projekt VERTIKO dienen, welches der Messung und Modellierung der Vertikaltransporte in der atmosphärischen Grenzschicht über inhomogenem Gelände gewidmet ist, und innerhalb dessen zur fernerkundlichen Erfassung der Bodenbedeckungsmuster auch eine Kooperation mit dem Institut für Kartographie bestand. Ein weiteres intra- und extra-fakultäres Kooperationsfeld stellte der Bereich Visualisierung von Relief- und Klimaparametern zu didaktischen Zwecken in der Geographie dar (Projekt GeoVis). Zu anderen speziellen Visualisierungsverfahren liefern zwei Aufsätze dieses Heftes detaillierte Informationen. Seitens des Geographischen Institutes sollten Analysen von Geofaktoren in den chilenischen Anden, aber auch räumlich naheliegende Aktionsfelder in Sachsen genannt werden, hier z. B. mit dem Ziel der Parametrisierung des Landschaftsstoffhaushaltes. Stoffflüsse in Zusammenhang mit der Wasserbewegung in natürlichen und technischen Systemen sind ein Kerngebiet der hydrowissenschaftlichen Institute; in deren Forschung und Lehre haben seit längerem Geoinformationssysteme Eingang gefunden. Abschließend sollte das Stichwort Digitale Geländemodelle fallen, ein Forschungsthema, das für verschiedene Dresdner Institute von unveränderter Aktualität ist (vgl. z. B. PFG 1999, Heft 6; 2000, Heft 6 und 2003, Heft 2).

Die hier nur skizzierte Vielfalt der Aktivitäten spiegelt sich in den vorliegenden Beiträgen. Methodisch vereinigt das Heft Auswertungen operationeller (Landsat-TM, NOAA-AVHRR, Meteosat) und semioperationeller (HyMap, HRSC) Fernerkun-

dungsdaten, photogrammetrische Bearbeitung terrestrischer Messbilder, GIS-basierte Modellierung von Regelbeobachtungen sowie unkonventionelle grafische Aufbereitungen von Geodaten in Form dynamischer Sequenzen und Echt-3D-Abbildungen. Disziplinär sind die vorgestellten Anwendungen auf das weite Spektrum von der Forstinventur über die Erfassung von Strahlungshaushaltsgrößen, den Immissionsschutz und die ökologische Planung bis zum Schutz des Kulturerbes gerichtet. Über den „externen“ Aufsatzbeitrag von A. GRÜN (ETH Zürich) in diesem Heft und die Verknüpfung seiner photogrammetrischen Arbeiten mit einer 3D-Visualisierung von Raummodellen (BUCHROITHNER et al.) soll stellvertretend für zahlreiche andere Beispiele die Offenheit und externe Kooperation der Dresdner Institute versinnbildlicht werden.

Der Schriftleitung der PFG sei an dieser Stelle explizit für die Möglichkeit der Zusammenstellung einer PFG-Ausgabe mit Beiträgen des Standortes Dresden gedankt.

Anschrift der Autoren:

Dr. rer. nat. NIKOLAS PRECHTEL
TU Dresden, Institut für Kartographie
Helmholtzstr. 10, D-01069 Dresden
e-mail: Nikolas.Prechtel@mailbox.tu-dresden.de

Prof. Dr. phil. habil.
MANFRED BUCHROITHNER
TU Dresden, Institut für Kartographie
Helmholtzstr. 10, D-01069 Dresden
e-mail: Manfred.Buchroithner@mailbox.tu-dresden.de

Manuskript eingereicht: Oktober 2004

Angenommen: November 2004

Validated surface solar radiation inferred from NOAA-AVHRR and Meteosat-8 SEVIRI data

ANGELA SCHWIEBUS, ANNE LORENZ & FRANZ H. BERGER, Dresden

Keywords: remote sensing, cloud optical depth, solar radiation, NOAA AVHRR, Meteosat-8

Summary: The analysis scheme SESAT (Strahlungs- und Energieflüsse aus Satellitendaten) was applied to NOAA AVHRR and Meteosat-8 data to calculate instantaneous values for solar radiation at surface. With the beforehand cloud classification 24 clouds can be discriminated along with the corresponding cloud optical thickness. For evaluation a comparison between the satellite-based results on the one hand and between NOAA data and ground measurements at 3 Anchor Stations on the other hand is presented. The obtained information supports a critical evaluation of the analysis results and demonstrates the capability of current remote sensing techniques.

Zusammenfassung: *Validierte Globalstrahlung am Erdboden bestimmt aus NOAA-AVHRR und Meteosat-8 SEVIRI Daten.* Das Analyseschema SESAT wurde für NOAA AVHRR und Meteosat-8 Daten angewendet, um Momentanwerte der Globalstrahlung am Erdboden zu bestimmen. Mittels einer Wolkenklassifikation, basierend auf der Maximum Likelihood Methode, können 24 Wolkenklassen und deren zugehörige optische Dicken unterschieden werden. Eine Validierung der Ergebnisse erfolgt durch den Vergleich der satellitenbasierten Ergebnisse untereinander und durch den Vergleich der NOAA Daten mit Bodenmessungen von 3 Ankerstationen. Die Validierung ermöglicht eine kritische Einschätzung der verwendeten Techniken hinsichtlich der erzielbaren Genauigkeit.

1 Introduction

The knowledge of surface energy fluxes provides important information for the study of regional and local aspects of the hydrologic cycle. Among the surface energy fluxes the radiation component is both the largest and the most controlling. Satellite remote sensing provides information about surface temperature and radiative properties at different temporal and spatial scales. The determination of radiative flux densities at surface is based upon these parameters, at the same time requiring first a correction of several atmospheric effects and second an accurate description of the interaction between clouds and radiation.

Regression techniques relating satellite data with ground measurements of solar radiation (TARPLEY 1979) were followed by physical approaches. There in general radiative transfer models like Streamer (KEY 1999) are used to analyze satellite data and to relate cloud microphysical and atmospheric properties with radiances measured at satellite level. Due to the lack of time and position adequate atmospheric profiles and information about the 3D geometrical structure of clouds and, with major importance, their optical and microphysical properties the accuracy of the radiation transfer codes is still limited. The uncertainty in cloud optical depth estimation is addressed by PINCUS et al. (1995) and ROZWADOWSKA (2004).

However, smaller-scale cloud heterogeneities have greater impact on the radiative budget and must be accounted for. Numerous publications address the estimation of solar radiation from satellite data. PINKER et al. (1995) give an update of methods including a survey of global data sets like ERBE or ISCCP. Generally the parameterizations concerning cloud physics, atmosphere and aerosols became more sophisticated, like e.g. MASUDA et al. (1995), LASZLO & PINKER (1993), SCHMETZ (1993), CHOU (1997) or YUCEL et al. (2002) show. The achievable accuracy for satellite-based insolation was tested in a number of case studies. Inter model comparisons show errors around $10\text{--}20\text{ Wm}^{-2}$ on monthly time scale (PINKER et al. 1995). The validation with ground measurements yields RMSE up to 115 Wm^{-2} (e.g. BERGER 2001, TOVAR & BALDASANO 2001) for instantaneous and hourly solar radiation, respectively.

2 Data

Satellite data with different spectral and spatial resolution were applied to derive cloud physical properties and solar radiation at surface. Results of NOAA16-AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) with a spatial resolution of around 1.1 km^2 at nadir (Fig. 1) are compared with Meteosat-8 SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager) owning a resolution of 3 km at nadir and about $4,5 \times 3\text{ km}^2$ for Central Europe. Meteosat-8 data were officially first released on January 27 in 2004. Due to NOAA offering only one overflight per day for the same area the comparison is limited to instantaneous values, not utilizing the high temporal resolution of Meteosat-8 (15 min).

The global digital elevation model GTOPO30 is additionally used to describe the un-

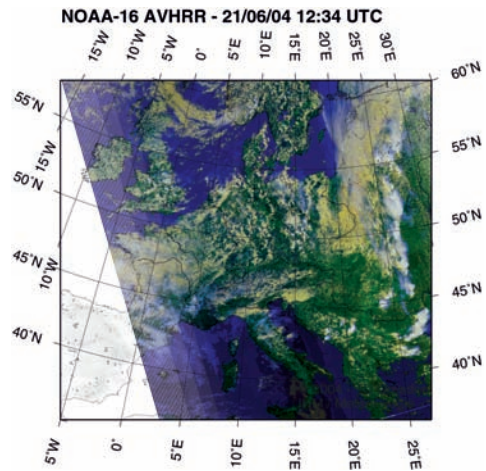


Fig. 1: NOAA-16 AVHRR color composite (channels 1, 2 and 4) for Europe for 21/06/2004.

derlying topography. It is based on data derived from 8 sources of elevation information hence the vertical accuracy of the GTOPO30 varies from 15 meters to 500 meters at 90 % confidence level. The horizontal grid spacing of the raster-structured data is 30 arc seconds (approximately 1 km). The vertical resolution was chosen with 1 m for NOAA and 25 m for Meteosat. The USGS EROS Data center offers GTOPO30 as public domain data.

3 Methods

The respective similar spectral characteristic of the considered channels (Tab. 1) allows to apply the same approach for both satellites. SESAT (BERGER 1995, 2001) is a modular analysis scheme to calculate radiant and energy flux densities at TOA and at surface. It was extensively tested for several periods and regions with NOAA AVHRR data (BERGER et al. 2002). The modular structure of SESAT permits the mo-

Tab. 1: Definition of the utilized spectral channels of NOAA and Meteosat-8.

	Band [μm]	channel	Band [μm]	channel	Band [μm]	channel
	visible		visible		thermal IR	
AVHRR	0,58 - 0,68	ch1	0,725 - 1,00	ch2	10,30 - 11,30	ch4
SEVIRI	0,56 - 0,71	ch1	0,74 - 0,88	ch2	9,80 - 11,80	ch9

dification of its single parts to the characteristics of SEVIRI. These adjustments mainly refer to the definition of new thresholds for brightness temperature and spectral reflectance and a normalization of tropopause temperature both required only for cloud classification.

The SESAT modules which are relevant for this paper are shortly explained below.

Module A:

The data are calibrated, geocoded and transformed onto a stereographic projection. The geocoded NOAA orbits allow the processing of time series due to the co-location of the single scenes. The instrument calibration usually is the linear type for the visible channels of both satellites

$$A = SC + I$$

where for NOAA A is the spectral albedo [%], S the slope (% albedo per count), C the satellite signal in 10 bit counts and I the intercept. The valid coefficients are updated by NOAA (NOAA KLM User's Guide 2000). For Meteosat-8 the above relation is defined with A the radiance [$\text{mWm}^{-2}\text{sr}^{-1}(\text{cm}^{-1})^{-1}$]. The calibration coefficients (S , I) of Meteosat-8 SEVIRI channels are obtained from the repeat cycle prologue of each image (Eumetsat 2003). To build comparable conditions for insolation the visible channels were normalized with the solar zenith angle.

The infrared channels for Meteosat are calibrated with the MSG Data Manager (TAYLOR 2003). Then brightness temperature is assigned to the greyvalues (0-255) using a look-up table. For NOAA their data service (NESDIS) has generated look-up tables relating blackbody temperature to measured AVHRR radiance for each thermal channel covering a range of 180 K to 340 K.

Module B:

The test classes for the cloud classification are assessed based on physical albedo/temperature characteristics. Reflectance at $0,8 \mu\text{m}$, normalized with the solar zenith angle for each pixel, and the brightness tempera-

ture at $10,8 \mu\text{m}$ are used for the determination of the test classes. The thresholds for the classes base on BERGER (1995). For land and sea surfaces (class 1 to 4) a minimum decision rule for the reflectance and a maximum decision rule for the temperature are applied. For thick convective clouds (class 24) a maximum for albedo and a minimum temperature are chosen. For low and mid-level clouds the surface temperature was reduced depending on season to achieve the minimum temperature followed by a maximum decision for reflectances at the defined temperature. Altogether 24 classes, 4 cloudless and 20 cloud classes are obtained. Fig. 2 exemplary shows the assigned thresholds, where the single branches represent clouds in different heights. The corresponding cloud classes are listed in Tab. 2. Multilayered clouds are placed between the branches.

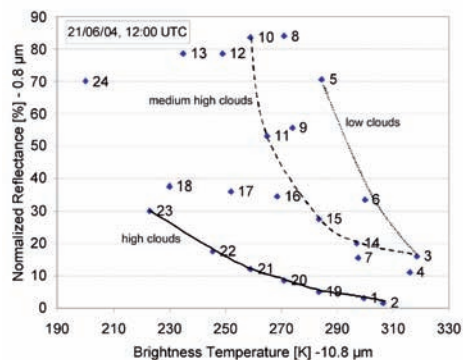


Fig. 2: Reflectance ($0,8 \mu\text{m}$) versus brightness temperature ($10,8 \mu\text{m}$) as basis for cloud classification. Tab. 2 contains the corresponding cloud classes.

Tab. 2: Definition of cloud classes.

Number	Description of cloud class
1 - 4	Land/ Sea/ Snow/ Sunlight
5	Low and thin
6, 7	Low and thick
8, 9	Multilayered I
10	Medium high and thick
11	Medium high and thin
12, 13	Multilayered II
14 - 16, 19 - 21	High and thin
17, 18, 22, 23	High and thick
24	Thick convective

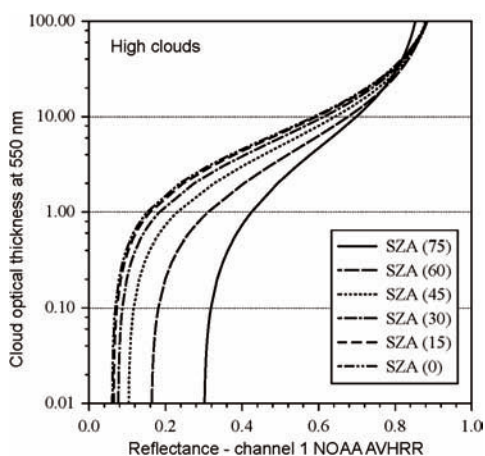


Fig. 3: NOAA-16 channel 1 reflectance at TOA versus optical depth for high clouds above a water surface and different solar zenith angles.

The cloud classification is carried out using a maximum likelihood classifier. For classification the 0,6 μm channel is additionally considered. The single training areas are detected automatically for the appropriated test classes. If a defined value for a class was found the 3×3 pixel neighbourhood is used to calculate the statistics for the maximum likelihood classification (mean value and covariance matrix). If no training area was found for a class, the statistics are provided.

Module C:

Cloud optical depth is achieved applying an inverse look-up table method. Radiative transfer simulations of outgoing radiance were performed using the 1D model Streamer (KEY 1991) within the visible spectrum varying the most controlling parameters like solar zenith angle (SZA), satellite viewing angle, relative azimuth angle between sun and satellite, atmosphere type (humidity and aerosol conditions), and land surface type as well as optical depth itself. The results of these simulations are tabulated. Inversely the comparison between predicted and measured signal allows the determination of optical depth for nearly all appearing conditions. An example is shown for high clouds above a water surface (Fig. 3). The nonli-

near relation between the integrated spectral reflectance and optical thickness is exemplified for varying SZA. Because it is harder to distinguish different reflectances at optically thick clouds the accuracy decreases for these cases (PINCUS et al. 1995, BERGER 2001).

Module D:

The determination of various land surface characteristics includes the spectral integrated surface reflectance (SONG & GAO 1999) and the effective surface temperature (MCCCLAIN et al. 1985) under different atmospheric conditions.

Module F:

Insolation at surface is derived inversely basing again on look-up tables obtained from broadband radiative transfer simulations. The inclusion of topography accounts for the effect of higher direct and lower diffuse radiation with increasing altitude. Reflected shortwave radiation and longwave components are calculated using the parameters determined in the previous modules.

4 Results

The following results cover only Europe although the processing of the complete Meteosat-8-scanned disc is intended. Problems occurred especially for the cloud classification over desert areas due to their ambiguous spectral properties, and for the latitude dependent differences for temperature and reflectance.

Fig. 4 shows the results of cloud classification for one exemplary date (Fig. 1 shows the color composite). The cloud structures for both NOAA and Meteosat match very well, whereas there are differences for the assigned cloud classes caused by differing thresholds for reflectance and brightness temperature when defining the test classes (Module B). The spatial integration of Meteosat blurs smaller structures which reduces reflectance and increases temperature. Meteosat data yield e.g. higher amounts of low thin clouds (yellowish, class 6). The areas with high thick and convective clouds

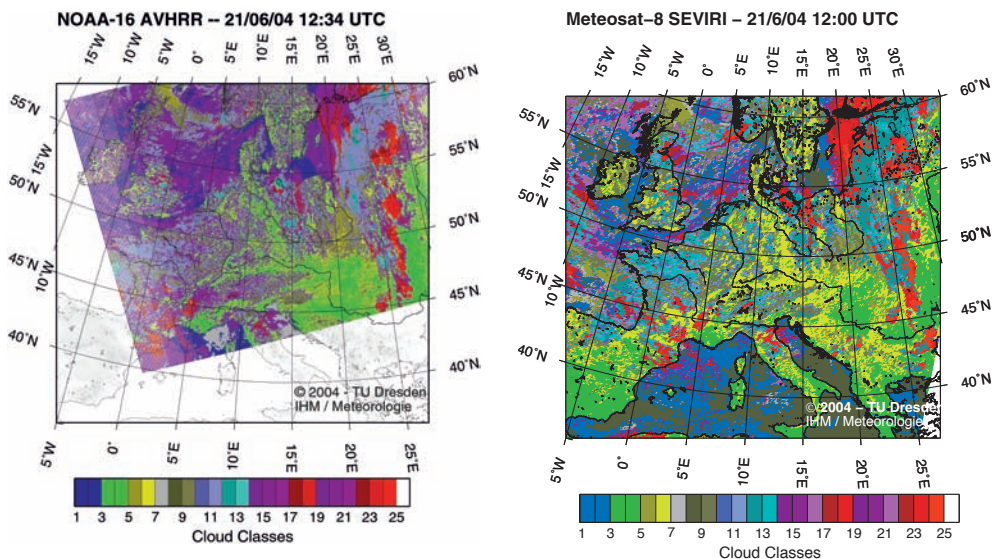


Fig. 4: Exemplary results of cloud classification for NOAA (left) and Meteosat (right) for 21/06/2004. Tab.2 contains the corresponding cloud classes.

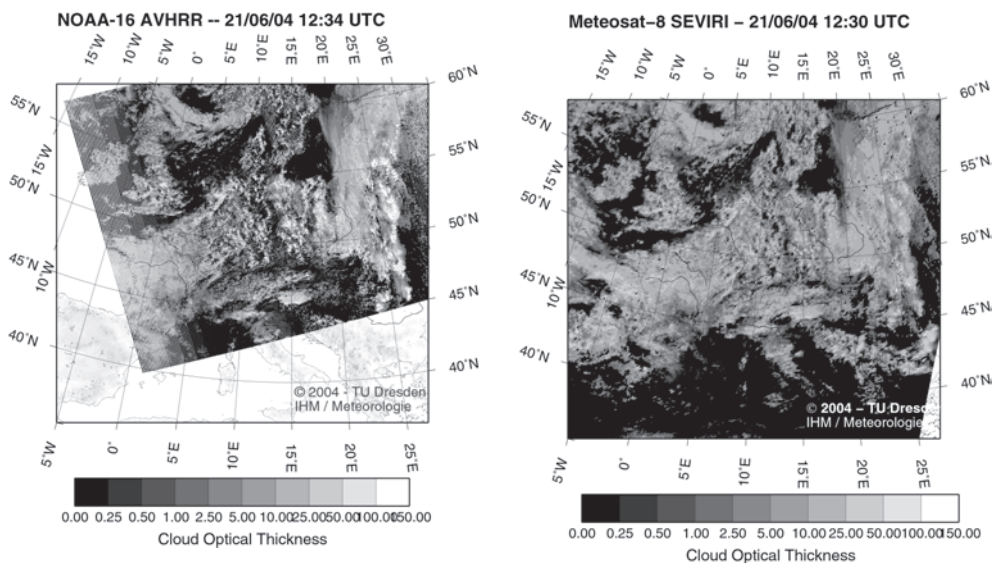


Fig. 5: Exemplary results for optical depth for NOAA (left) and Meteosat (right) for the same date.

(red, classes 17, 18, 22–24) are less extended for NOAA data, where only the centres of the high clusters are classified as thick or convective, whereas for the outer zone of these clusters thinner clouds are assigned. This shift toward thicker cloud classes in Meteosat classification exists throughout all

classes. Related to the spatial resolution of Meteosat a coarser covariance matrix for the classification is generated causing this 'overestimation'. Cloud classification basically is a result by its own, it merely helps to provide information for the assignment of microphysical properties related to cer-

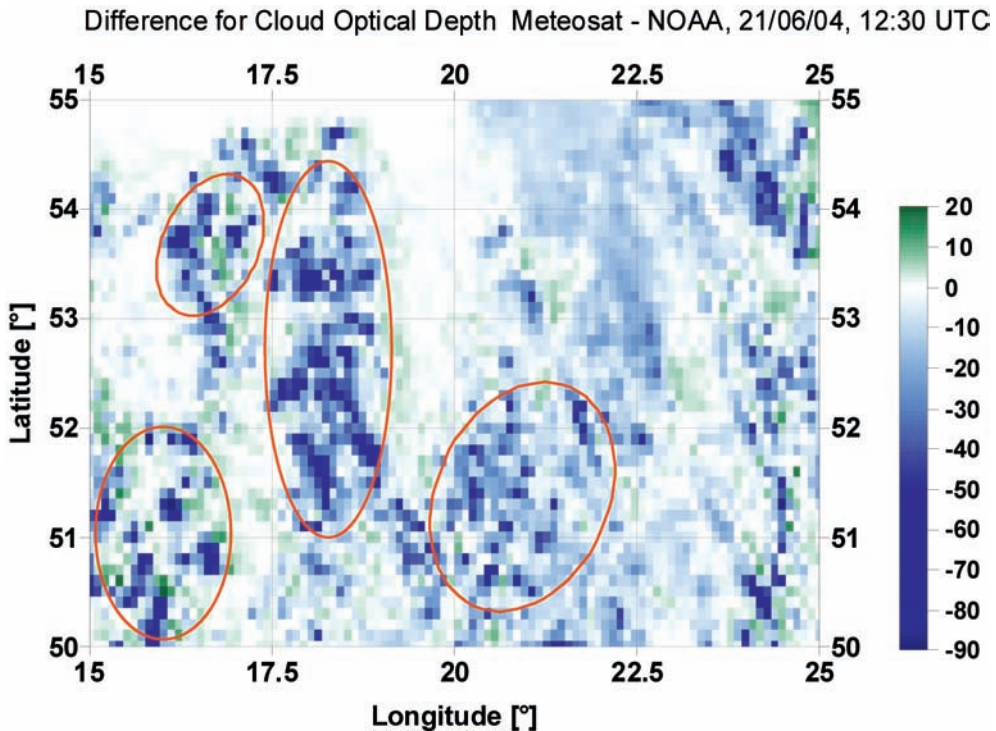


Fig. 6: Difference plot of cloud optical depth for 21/06/2004, 12:30 UTC for the area 15–25°E, 50–55°N. Regions with thick and multi-layered clouds are encircled in red.

tain cloud classes. An evaluation of classification results is difficult due to lack of references. The impact of uncertainties on the accuracy of adjacent parameters like cloud optical thickness is only secondary.

There are also differences between NOAA and Meteosat results for cloud optical depth τ (Fig. 5). Due to the coarser spatial resolution of Meteosat convective and small scale cloud structures are not detected in the very detail. Therefore these structures, owning very high optical thickness between 50 and 100, come out more clearly within the NOAA data. Mostly the cloud optical depth is lower for Meteosat caused by its spatial resolution (quite in opposite to the cloud classification result). The difference plot for a selected area with mainly thicker clouds (Fig. 6) shows such regions in blue colors. The high deviations (red circles) of up to 70 only appear for certain cloud classes, especially multilayered and thick types. The

well-known effect of higher uncertainties towards large τ shows here very clearly.

The evaluation is problematic since none of the data may be regarded as the truth. Therefore also a numerical correction would not be appropriate. Estimates of cloud optical depth inferred from ground measurements like ROZWADOWSKA (2004) shows are rare. In general both measurement uncertainties at satellite sensors and model parametrizations have a part in the uncertainty of cloud optical depth. Due to different sensor characteristics and calibration the uncertainty varies considerably between different satellites (PINCUS et al. 1995). That is also the case for this analysis, whereas atmospheric model uncertainties should be negligible for the comparison of τ_{Meteosat} and τ_{NOAA} on account of using the same look-up tables.

The derived insolation at surface in Fig. 7 visually agrees well. Meteosat data show lower results, but the differences within the

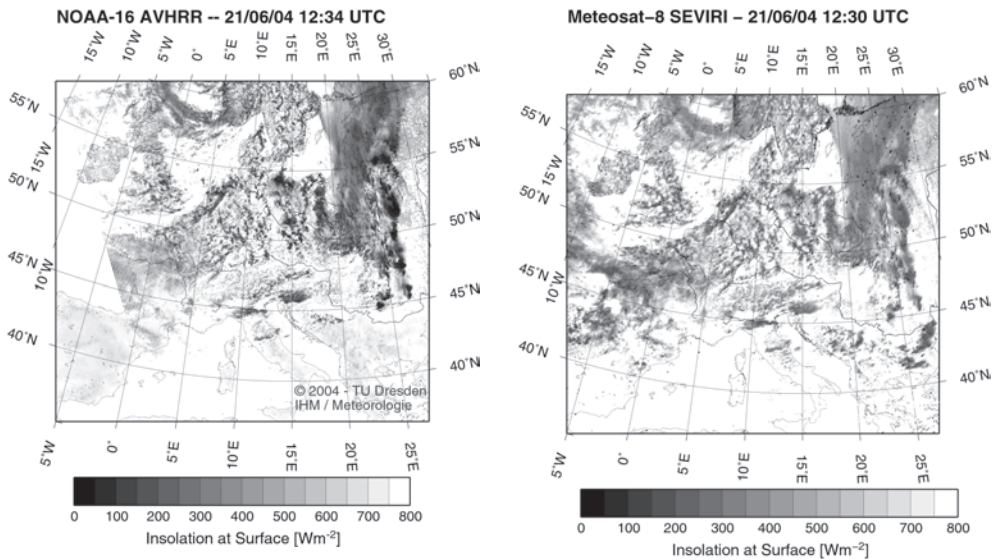


Fig. 7: Exemplary results for insolation at surface for NOAA (left) and Meteosat (right) for 21/06/2004.

cloud classification result and optical depth seem to have a minor impact here. The structures as well as the reduction of insolation for thick cloud structures are displayed well.

Fig. 8 plots the comparison of the satellite-based results of insolation at surface for June 21st. It contains about 4500 data points covering a region of 15° to 25° E and 50° to 55° N where cloud structure is very inhomogeneous at this time (mainly thick and convective types, partly cloudless). That may be the reason for the enormous scatter within the data. The RMSE for the shown example is 108 Wm^{-2} . The effect of lower Meteosat optical thickness as explained above is mirrored in the difference plot (Fig. 9) where the green pixel indicate higher insolation for Meteosat mostly in the range of $150\text{--}250 \text{ Wm}^{-2}$. For cloudless cases (blue pixels) NOAA insolation is higher since for Meteosat these regions are classified with low thin clouds. These values are shown in Fig. 8 as the rather horizontal branch in the upper part.

In former studies (SCHWIEBUS 2004) the validation for insolation with ground truth data was carried out. Fig. 10 shows a comparison of NOAA insolation results with measurements of 3 Anchor Stations (Tha-

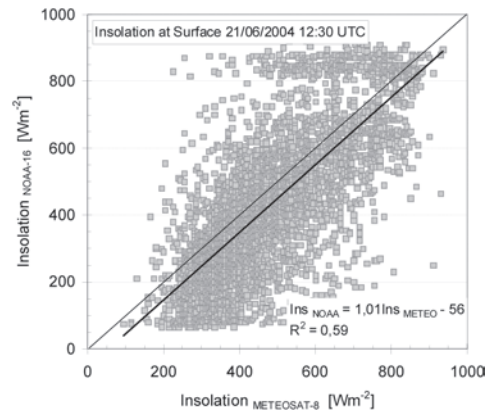


Fig. 8: Inter satellite comparison of insolation at surface for 21/06/2004, 12:30 UTC for the area $15\text{--}25^{\circ}$ E, $50\text{--}55^{\circ}$ N with thicker and high clouds dominating.

randt, Melpitz, and Lindenberg; 10×10 pixel mean) using discrete cloud classes. The blue fit represents cloudless cases, the grey fit high and thick cloud cover. The following effects become apparent: for thick clouds with an optical thickness > 20 the cloud structures are uniform and their impact on insolation is equally so the RMSE (Wm^{-2} , see table) is lower for such cloud

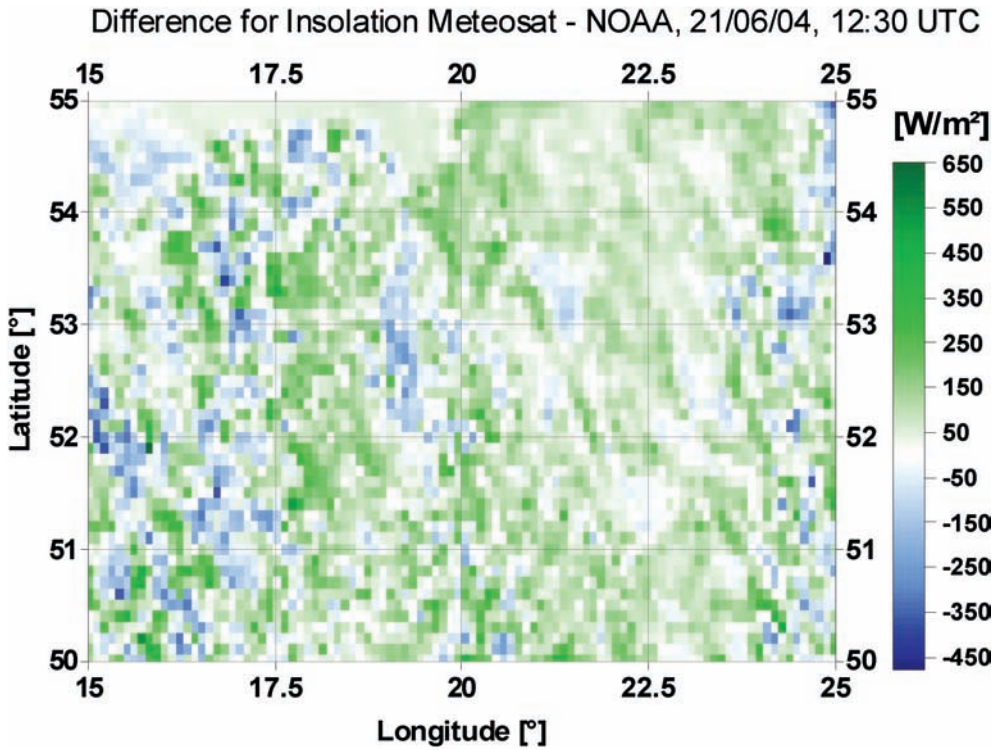


Fig. 9: Difference Plot of insolation for the above defined area.

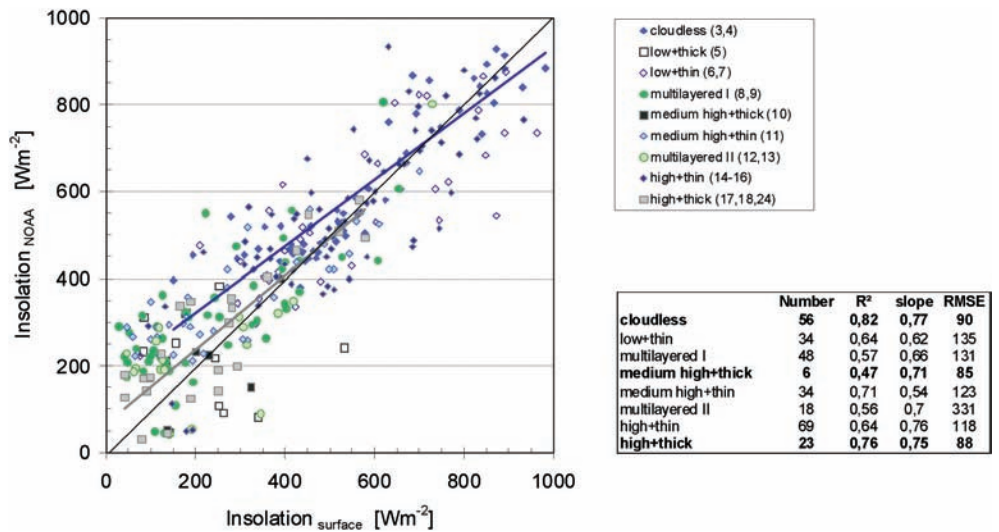


Fig. 10: Validation of the NOAA insolation results with half-hourly ground measurements at 3 Anchor Stations in eastern Germany.

types as well as cloudless features (see box). Thinner clouds with optical thickness < 10 often show inhomogeneous structures which leads to greater uncertainties for the determination of insolation. Multilayered clouds are hard to parameterize due to lack of information about 3D cloud field and vertical structure. The RMSE therefore is much higher here. The accuracy of ground measurements of insolation usually is assumed to be $\pm 3\%$ for class A pyranometers. The variation within the 10×10 pixel mean is higher depending on the respective cloud structure. However, the NOAA geocoding has a limited accuracy, so the use of a pixel mean is highly recommended, if no second navigation is applied. Another problem: the instantaneous satellite data are compared with half-hourly data. Even with interpolation one may not meet the appropriate value especially for temporally high variable quantities.

5 Discussion

The results clearly show the deficits within the cloud parameterization especially for Meteosat. The adjustments of SESAT to Meteosat were tested with one scene only, so the results are still preliminary. Further testing for time series is required to improve the adaptation. The application of the high resolution visible (HRV) channel of Meteosat-8 with a resolution of 1 km at nadir would solve certain problems which are explicitly related to the coarser resolution currently used. Due to the short period of Meteosat-8 data availability no examination of measurement (sensor) uncertainties was carried out so far. The evaluation has to be extended towards more cloud types to further discuss the effect of different clouds on radiative transfer. Recently generated lookup tables (Streamer) which include bidirectional reflection functions for land surfaces and clouds instead of assuming isotropic conditions will enhance the accuracy of radiation and improve the quality of cloud properties.

The obtained accuracies for insolation are within the range of other investigations showing

validation with ground truth data for instantaneous quantities (RMSE about 120 Wm^{-2}). The uncertainty of both NOAA and Meteosat-8 results has to be accounted for in follow-up computations. The quality of insolation results is sufficient for monthly data but for instantaneous data the accuracy is still limited.

Acknowledgements

The ground measurement data used for validation were collected within the BMBF research programme AFO 2000 through TU Dresden (IHM), DWD (Observatorium Lindenberg) and Institut für Troposphärenforschung Leipzig.

References

- BERGER, F.H., 1995: Inference of the climate efficiency of clouds from satellite measurements. – *Int. J. Remote Sensing* **16** (15): 2903–2926.
- BERGER, F.H., 2001: Bestimmung des Energiehaushaltes am Erdboden mit Hilfe von Satellitendaten. – *Tharandter Klimaprotokolle*, Band 5.
- BERGER, F.H., ACKERMANN, J. & KLAES, D., 2002: Surface radiant flux densities inferred from LAC and GAC AVHRR data. – *Proceedings of “The Eumetsat User’s Conference”*, Dublin September 2002.
- CHOU, M.-D., SUAREZ, M.J., HO, C.-H., YAN, M.M.-H. & LEE, K.-T., 1997: Parameterizations for cloud overlapping and shortwave single-scattering properties for use in general circulation and cloud ensemble models. – *J. Clim.* **11**: 202–214.
- EUMETSAT, 2003: Image Data Dissemination Service, Technical Description EUM TD 08, p. 16.
- KEY, J.R., 1999: Streamer – user’s guide, Technical Report 96–01, Department of Geography, Boston University.
- LASZLO, I. & PINKER, R.T., 1993: Shortwave cloud-radiative forcing at the top of the atmosphere, at the surface and of the atmospheric column as determined from ISCCP C1 data. – *J. Geoph. Res.* **98**: 2703–2713.
- MASUDA, K., LEIGHTON, H.G. & LI, Z., 1995: A new parameterization for the determination of solar flux absorbed at the surface from satellite measurements. – *J. Clim.* **8**: 1615–1629.
- MCCLAIN, E.P., PICHEL, W.G. & WALTON, C.C., 1985: Comparative performance of AVHRR-

- based multichannel sea surface temperatures. – *J. Geophys. Res.* **90**: 11587–11601.
- NOAA KLM User's Guide, September 2000 Revision.
- PINCUS, R., SZCZODRAK, M., GU, J., AUSTIN, P., 1995: Uncertainty in cloud optical depth estimates made from satellite radiance measurements. – *J. Clim.* **8**: 1453–1462.
- PINKER, R. T., FROUIN, R. & LI, Z., 1995: A review of satellite methods to derive surface shortwave irradiance. – *Remote Sens. Environ.* **51**: 108–124.
- ROZWADOWSKA, A., 2004: Uncertainty in stratiform cloud optical thickness inferred from pyranometer measurements at the sea surface. – *Oceanologia* **46**: 155–174.
- SCHMETZ, J., 1993: Relationship between solar net radiative fluxes at the top of atmosphere and at surface. – *J. Atm. Sci.* **50**: 1122–1132.
- SCHWIEBUS, A. & BERGER, F.H., 2004 (in press): Sensitivity studies and their application to infer surface energy fluxes: prospects within the passive remote sensing. – *Physics and Chemistry of the Earth*.
- SONG, J. & GAO, W., 1999: An improved method to derive surface albedo from narrowband AVHRR satellite data: Narrowband to broadband conversion. – *J. Appl. Meteor.* **38**: 239–249.
- TARPLEY, J.D., 1979: Estimating incident solar radiation at the surface from geostationary satellite data. – *J. Appl. Meteor.* **18**: 1172–1181.
- TAYLOR, D., 2003: <http://www.david-taylor.pwp.blueyonder.co.uk/software/>
- TOVAR, H. F. & BALDASANO, J. M., 2001: Solar radiation mapping from NOAA AVHRR data in Catalonia, Spain. – *J. Appl. Meteor.* **40**: 1821–1834.
- YUCEL, I., SHUTTLEWORTH, W.J., PINKER, R. T., LU, L. & SOROOSHIAN, S., 2002: Impact of ingesting satellite-derived cloud cover into the regional atmospheric modeling system. *Mon. Weather Rev.* **130**: 610–628.

Addresses of the authors:

ANGELA SCHWIEBUS
e-mail: angela.schwiebus@forst.tu-dresden.de

ANNE LORENZ
e-mail: anne.lorenz@forst.tu-dresden.de
Anschrift:
TU Dresden
Institut für Hydrologie und Meteorologie
LS Meteorologie
D-01062 Dresden

PD Mag. Dr. FRANZ H. BERGER
e-mail: franz.berger@dwd.de
Anschrift:
Deutscher Wetterdienst
Meteorologisches Observatorium Lindenberg
D-15848 Tauche – OT Lindenberg

Manuskript eingereicht: Oktober 2004
Angenommen: November 2004

Fachinformationssystem IMMIKART-GIS für die flächen- deckende Immissionsabschätzung im Freistaat Sachsen – Modul IMMIKART – Außerortstraßen*

THOMAS BECKER, LUTZ MAERKER, ANTJE MOLDENHAUER, HELMUT LORENTZ,
ACHIM LOHMEYER & UWE WOLF, Dresden

Keywords: GIS, spatial informatics, dispersion modeling, report on ambient air quality, air quality assessment and management

Zusammenfassung: Es wird die Erstellung des Moduls IMMIKART-Außerortstraßen als Teilmodul des Fachinformationssystems IMMIKART-GIS beschrieben. Das Modul verbessert für Sachsen die Abschätzung von Schadstoffimmissionen an Hauptverkehrsstraßen außerhalb von Ortschaften und Kreuzungsbereichen. Grundlage sind die Luftqualitätsdaten aus dem Landesmessnetz sowie die Emissionsdaten aus dem dynamischen Emissionskataster Sachsen für den Verkehr. Als Ausbreitungsmodell wird das Verfahren nach MLuS 02 verwendet, die jahresmittlere Windgeschwindigkeit wird abhängig von der Geländehöhe und -rauigkeit angesetzt. Die Implementierung dieses Verfahrens in das Fachinformationssystem IMMIKART-GIS stellt dem Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG) ein leistungsfähiges Werkzeug zur Verfügung, um die Bevölkerung über die Immissionsituation in Sachsen zu unterrichten und die Unterlagen für die Erfüllung der Berichtspflicht an die EU entsprechend Direktive 96/62/EC zu erarbeiten.

Summary: *IMMIKART-GIS is a program system for the estimation of the ambient air quality for the whole State of Saxony.* The implementation of a module to especially improve the estimation of the concentrations in the vicinity of roads outside of city centres and away from intersections is described. Basis are the data at the ambient air quality monitoring stations and the emission data, provided by the dynamic emission inventory for the State of Saxony. The dispersion modelling is based on the algorithm, described in MluS 02, the wind speed is provided as a function of the terrain height and its aerodynamic roughness. The system is used by the State of Saxony Agency for Environment and Geology (LfUG) to fulfil its obligation to inform the inhabitants of Saxony about the air pollutant concentrations and to work out the basis for the reports to the EU concerning ambient air quality according to Directive 96/62/EC.

* Das Programmsystem IMMIKART-GIS ist ein Fachinformationssystem zur Visualisierung und Modellierung von Schadstoffkonzentrationen, welches als Fachschale in das Geographische Informationssystem ArcGIS implementiert ist. Die Zugehörigkeit zu ArcGIS wird mit der Abkürzung „GIS“ im Programmnamen verdeutlicht.

1 Einleitung

Seit 1999 wird von der Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG im Auftrag des Sächsischen Landesamts für Umwelt und Geologie (LfUG) das Fachinformationssystem „IMMIKART-GIS“ entwickelt, welches Auskunft über die Luftschadstoffsituation in Sachsen gibt. Die Notwendigkeit zur Erstellung eines solchen Systems ergibt sich aus der Informationspflicht der Länder ge-

genüber der EU (EG-RL 96/62/EG) sowie gegenüber der Öffentlichkeit.

IMMIKART-GIS ist unter der Software ArcGIS™ der Firma ESRI™ ansteuerbar. Die Kompatibilität auch zu anderen GIS-Systemen ist durch die Datenhaltung im Geo-Format „Shape“ von ESRI, welches von den meisten GIS-Systemen verarbeitet werden kann, gegeben.

Das o.g. Fachinformationssystem soll Aussagen zur Luftschadstoffbelastung für Gebiete ermöglichen, in denen keine Messdaten erhoben werden. Es ist modular aufgebaut und beinhaltet unter anderem Verfahren zur Übertragung von punktuellen Messdaten auf die Fläche (Module IMMIKART Teil 1 und 2).

Im Dezember 2003 wurde das Modul IMMIKART-Außerortstraßen integriert, welches die Berechnung der Schadstoffbelastung an Außerortstraßen in Sachsen ermöglicht. Dieses Modul wird im Folgenden vorgestellt.

2 Emissionen

Den wichtigsten Eingangsdatensatz für die Immissionsbestimmung an den sächsischen Außerortsstraßen stellt eine Shape-Datei dar, die aus dem „Dynamisierten Emissionskataster für Sachsen“ für den Verkehr generiert wird. Zu diesem Zweck wurde von der TU Dresden ein entsprechender Exportfilter erstellt (TU Dresden 2003). Die Daten aus o.g. Emissionskataster enthalten zurzeit nur die auspuffbedingten Emissionen. Zusätzlich dazu treten noch nichtauspuffbedingte Emissionen auf. Diese entstehen infolge Abrieb¹ und Aufwirbelung² bzgl. PM₁₀ bzw. infolge Reifenabrieb bzgl. Ruß. Zur Ermittlung dieser Anteile kommen zum jetzigen Zeitpunkt die Verfahren von LOHMEYER & DÜRING (2001) für PM₁₀ und RAU-

TERBERG-WULFF (1998 und 1999) für Ruß zur Anwendung. Derzeit läuft ein Forschungsprojekt, das Möglichkeiten zur Integration nicht auspuffbedingter Partikelemissionen in das o. a. Emissionskataster untersucht.

3 Ausbreitungsmodell

Als Ausbreitungsmodell wird im Rahmen des Moduls IMMIKART-Außerortstraßen das Verfahren entsprechend dem Merkblatt MLuS 02 [„Merkblatt über Luftverunreinigungen an Straßen ohne oder mit lockerer Randbebauung“, (FGSV 2002)] genutzt. Mit dem Merkblatt wird das Ziel verfolgt, die Abschätzung der Immissionsbelastungen an unbebauten oder höchstens locker bebauten Straßenabschnitten, also überwiegend an Außerortstraßen, zu ermöglichen, die außerhalb von engen Talbereichen liegen. In MLuS 02 ist ein parametrisiertes Konversionsmodell integriert, welches die Umwandlung des primär emittierten NO zu NO₂ beschreibt. So erfolgt die NO₂-Berechnung über einen exponentiellen Ansatz mit unterschiedlichen Koeffizienten für Mittelwert und Perzentil (Gleichung 1). Der NO-Wert berechnet sich dann aus der Differenz zwischen NO_x und NO₂ (Gleichung 2). Die Ergebnisse aus beiden Formeln werden in mg/m³ angegeben. Weiterhin sind im Folgenden die Gleichungen für inerte Schadstoffe aufgezeigt (Gleichungen 3 bis 5).

$$K_{(NO_2)} = B1 \cdot K_{(NO_2)}^{B2} \cdot e^{(B3 \cdot K_{(NO_2)})} \quad (1)$$

$$K_{(NO)} = K_{(NO_x)} - K_{(NO_2)} \quad (2)$$

$$K_i(s) = k_n \cdot e \cdot g(s) + f_u \quad (3)$$

$$g(s) = 1 - 0,166 \ln(1 + s) \quad (4)$$

$$f_u = 2,3/u \quad (5)$$

¹ Abrieb: Partikelablösungen, die infolge Reibung entstehen. Man unterscheidet u. a. Straßen-, Kuppelungs- und Bremsbelagsabrieb.
² Aufwirbelung: Mechanisches Hochwirbeln von auf der Straße liegenden Staubpartikeln durch vorbeifahrende Fahrzeuge.

$K_i(s)$ [mg/m³] = Konzentration des inerten Schadstoffes

k_n [h/m²] = bodennahe Konzentration, normiert mit dabei vorliegenden längenspezifischen

e_i [mg/m ³ *h]	= Emissionen der Straße = Längenspezifische Emission der Straße für Schadstoff i
$g(s)$	= Ausbreitungsfunktion der Schadstoffe
s [m]	= Abstand vom Fahr- bahnrand
f_u [m/s]	= Funktion zur Berücksichtigung der Windgeschwindigkeiten
u [m/s]	= Mittlere Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe
B_1, B_2, B_3 [μg/m ³]	= Konstanten für die Berechnung der Konversion entsprechend MLuS 02

Das Modell MLuS 02 ist nur bei lockerer Bebauung des Straßenrandes und DTV > 5000 Kfz/24h einsetzbar. Aus diesem Grund werden Hauptverkehrsstraßen (Bundesstraßen und Autobahnen) lediglich außerhalb von Ortschaften betrachtet. Weitere Einsatzbeschränkungen des Modells (z. B. starke topographische Gliederung des Geländes sowie Dämme oder Einschnitte ≥ 15 m) werden hier vernachlässigt. Aus diesem Grund sind die Ergebnisse nicht im gleichen Maße belastbar wie spezielle gutachterliche Aussagen aus Einzeluntersuchungen.

Das Ausbreitungsmodell MLuS 02 ist entsprechend o.g. Gleichungen 1–5 für Einzelstrecken anwendbar. Im Programm MLuS 02 sind aber auch ein Kreuzungsmodul sowie ein Modul zur Berücksichtigung der besonderen Immissionsverhältnisse an Tunneln und Lärmschutzeinrichtungen integriert. Diese zusätzlichen Programmteile wurden nicht in das Modul IMMIKART-Außerortstraßen übernommen. Folglich sind damit nur Abschätzungen für freie Strecken (außerhalb von Kreuzungsbereichen) unter Vernachlässigung von Tunnellef-

ekten und Immissionsminderung infolge Lärmschutzeinrichtungen möglich.

4 Abschätzung der mittleren Windgeschwindigkeit

Die meteorologischen Verhältnisse gehen bei dem verwendeten Ausbreitungsmodell MLuS 02 entsprechend Gleichung 5 über die bodennahe mittlere Windgeschwindigkeit (in 10 m über Grund) in die Ausbreitungsrechnung ein. Dieser Parameter ist jedoch u.a. abhängig vom Oberflächenrelief und der Landnutzung und somit nicht in ganz Sachsen einheitlich.

Ein bedeutender Parameter bezüglich der bodennahen Windgeschwindigkeit ist die Höhe des betrachteten Gebietes über NHN. Allgemein nimmt die mittlere Windgeschwindigkeit bei sonst unveränderten Bedingungen mit der Höhe über NN zu. Um diesen Zusammenhang näher zu untersuchen, wurden sächsische Windmesswerte verschiedener Stationen (überwiegend DWD-Stationen) in Abhängigkeit von ihren jeweiligen Höhenlagen betrachtet.

Hierbei konnte obige Aussage bestätigt werden. Der aus den Messdaten abgeleitete Zusammenhang zwischen Höhe über NN und mittlerer Windgeschwindigkeit ist in Gleichung 6 dargestellt und wurde in den vorliegenden Untersuchungen so angewendet (BECKER 2004).

$$v_w = 2,3016 + 0,00545 \cdot h \quad (6)$$

$$v_w$$
 [m/s] = Windgeschwindigkeit

$$h$$
 [m] = Höhe über NN

Die Berechnungen für die mittleren Windgeschwindigkeiten wurden in Abstufungen von je 100 m durchgeführt, wobei der Bereich von 100 bis 1300 m über NN abgedeckt wurde. Die Ergebnisse bestätigen Größenordnungsmäßig die Aussagen von FLEMING (2001), der für Sachsen eine durchschnittliche Zunahme der mittleren Windgeschwindigkeit um ca. 0,3 m/s je 100 m angibt.

Gleichung 6 gilt für Bereiche, die überwiegend durch Freiland geprägt sind. Innerhalb von Wäldern sind die mittleren Windgeschwindigkeiten im Vergleich zum Freiland deutlich herabgesetzt, und außerdem ist MLuS 02 dort streng genommen nicht anwendbar. Um trotzdem abschätzende Aussagen auch für Wald- und Forstgebiete treffen zu können, wurde die Windgeschwindigkeit in überwiegend von Wald geprägten Bereichen um die Hälfte reduziert. Dies erfolgte entsprechend den Ausführungen in PLATE (1982) (Gleichung 7).

$$v_1 = v_0 \left(\frac{h_1}{h_0} \right)^c \quad (7)$$

v_1 [m/s] = zu berechnende Windgeschwindigkeit in der Höhe h_1 [m]

v_0 [m/s] = bekannte Windgeschwindigkeit in der Höhe h_0 [m]

c = von der Bodenrauigkeit abhängige Konstante

Dabei wurde für den Exponenten c ein Wert von 0,12 für Freiland und 0,4 für Wald eingesetzt. Aus den Ergebnissen dieser Berechnungen lässt sich ein Faktor von ca. 0,5 zwischen der Windgeschwindigkeit im Wald und der Windgeschwindigkeit über Freiland in 10 m Höhe über Grund ableiten (BECKER 2004).

Die oben aufgeführten Formeln ermöglichen die Berechnung der mittleren Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Höhe über NN, und zwar differenziert nach Bereichen mit überwiegend Freiland und Bereichen mit überwiegend Wald. Die vertikale Differenzierung der mittleren Windgeschwindigkeiten erfolgte rasterförmig mit einer Rasterauflösung analog zu dem ebenfalls mit dem Fachinformationssystem IMMİKART-GIS (Modell IMMİKART Teil 1 und Teil 2) berechneten Immissionsrasterkarten (2,5 km × 2,5 km).

5 Umsetzung im Fachinformationssystem IMMİKART-GIS

Das hier vorgestellte Modul berechnet die Immissionsbelastungen an den sächsischen

Außerortstraßen außerhalb von Kreuzungsbereichen in zwei Schritten, sowohl für die Jahresmittel- als auch die 98-Perzentilwerte der Schadstoffkomponenten NO₂, PM₁₀, Benzol und Ruß.

Die Grundlage zur Berechnung der verkehrsbedingten Zusatzbelastung (Schritt 1) bildet die aus dem Emissionskataster generierte Shape-Datei, die bezüglich PM₁₀ und Ruß um die Anteile Aufwirbelung/Abrieb bzw. Reifenabrieb ergänzt wird, sowie das Merkblatt MLuS 02, auf dessen Basis die Belastungen bis in 200 m Entfernung zur Trasse ermittelt werden können (siehe Gleichungen 1 bis 5).

Schritt zwei beinhaltet die Verschneidung des betrachteten Straßennetzes mit den vom Modul IMMİKART Teil 2 berechneten Immissionsrasterkarten, bei der der in ArcGIS™ eingebundene „Geoprocessor“ zum Einsatz kommt. Die Ermittlung der Gesamtbelastung an den einzelnen Straßenabschnitten ergibt sich aus einer Überlagerung der Rasterwerte der sachsenweiten Immissionsrasterkarten mit der entsprechend oben beschriebenen Verfahren berechneten verkehrsbedingten Zusatzbelastung.

6 Ergebnisse

Die Erweiterung des Programmsystems IMMİKART-GIS um das Modul IMMİKART-Außerortstraßen ermöglicht die Berechnung und Darstellung der Immissionsbelastungen an den sächsischen Außerortstraßen außerhalb von Kreuzungsbereichen durch die Umsetzung des in MLuS 02 beschriebenen Algorithmus. Das Ergebnis der Berechnungen sind konservative Abschätzungen der Gesamtbelastungen an den o.g. Straßen. Konservativ ist diese Abschätzung, da in den flächendeckenden Rasterimmissionsdaten, die als Vorbelastung verwendet werden, bereits die Emissionen der betrachteten Straßen enthalten sind. Da die Rasterauflösung der Immissionskarten jedoch 2,5 km x 2,5 km beträgt, wird in den Immissionskarten der Beitrag einzelner Straßen auf eine große Fläche (6,25 km²) verteilt, sodass das Vorgehen im Sinne einer konservativen Abschätzung vertretbar erscheint.

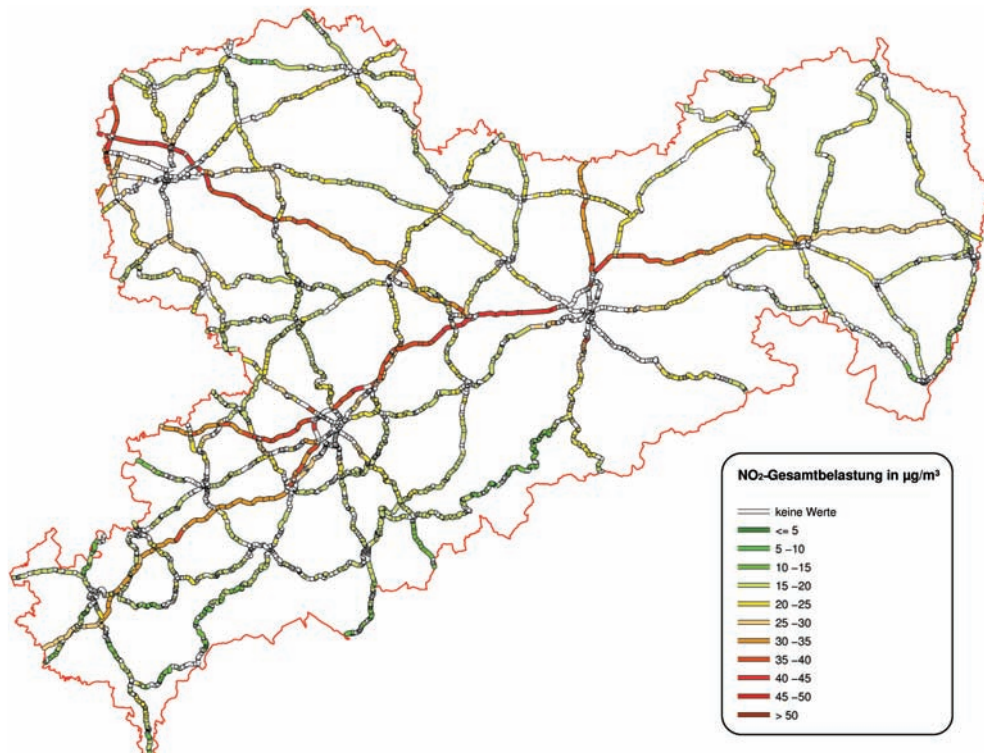


Abb. 1: Darstellung der NO₂-Belastungen (Jahresmittel) 2001 in Sachsen in einem Abstand von 25 m vom entsprechenden Straßenabschnitt.

Das erfolgreich in das Fachinformationssystem IMMIKART-GIS implementierte Modul IMMIKART-Außerortstraßen kam bereits für die Berechnungen der Immissionsbelastungen an Außerortstraßen in Sachsen zur Anwendung. In Abb. 1 ist als Beispiel die NO₂-Belastung (Jahresmittel) in einem Abstand von 25 m zur jeweiligen Trasse für 2001 dargestellt. Hierbei sind alle betrachteten Abschnitte (jeweils außerhalb von Kreuzungsbereichen und außerhalb von Städten) durch unterschiedliche Farben entsprechend der berechneten NO₂-Konzentrationen hervorgehoben.

Weitere Ergebnisse finden sich im Sächsischen Immissionsjahresbericht 2002 (LfUG 2003). Aktuelle Werte sind im Internet unter folgender Adresse abrufbar:
http://www.umwelt.sachsen.de/de/wu/umwelt/lfug/lfug-internet/luft-laerm-klima_212.html

7 Ausblick

Das Fachinformationssystem IMMIKART-GIS befindet sich weiterhin im Ausbau. Vor Kurzem wurde das Modul IMMIKART-Ballungsräume (Berechnung von Luftschadstoffkonzentrationen an innerstädtischen Straßennetzen u.a. unter Berücksichtigung der Randbebauung) fertig gestellt. Dieses Modul soll dem Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie als Werkzeug zur Luftreinhalteplanung zunächst für die Ballungsräume Leipzig und Dresden dienen.

8 Danksagung

Die hier vorgelegte Veröffentlichung entstand auf der Grundlage von Ergebnissen der Diplomarbeit von Dipl.-Geogr. THOMAS BECKER an der TU Dresden, die er in Zu-

sammenarbeit mit dem Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG erstellte. Die Autoren danken den beiden Betreuern dieser Diplomarbeit, Prof. ARNO KLEBER, Institut für Geographie der TU Dresden, und Dr. INGO DÜRING, Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, die stets Zeit für Fragen, Diskussionen und konstruktive Kritik aufbringen konnten.

9 Literaturverzeichnis

- BECKER, TH., 2004: Interpolationsverfahren für die Übertragung umweltmeteorologischer Parameter auf die Fläche – Überblick über verfügbare Systeme, Sensitivitätsstudie und Anwendungsprogrammierung für das System IMMIKART-GIS in ArcGIS. – Diplomarbeit TU Dresden, Institut für Physische Geographie/Regionale Geographie Mitteleuropas.
- FGSV, 2002: MLuS-2002, Teil: Straßen ohne oder mit lockerer Randbebauung – Ausgabe 2002. – 21 S., FGSV Verlag, Köln.
- FLEMMING, G., 2001: Angewandte Klimatologie von Sachsen – Basis- und Zustandsklima im Überblick. – Tharandter Klimaprotokolle Band 4, 154 S., TU Dresden, Institut für Hydrologie und Meteorologie.
- LfUG, 2003: Materialien zur Luftreinhaltung 2002, Jahresbericht zur Immissions-situation 2002. – 91 S., Hrsg. Freistaat Sachsen, Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden.
- LOHMEYER, A. & DÜRING, I., 2001: Validierung von PM₁₀-Immissionsberechnungen im Nahbereich von Straßen und Quantifizierung der Feinstaubbildung von Straßen. – 80 S., Auftraggeber: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin und Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie. Juni 2001, Radebeul.
- PLATE, E.J., 1982: Engineering meteorology – Kapitel 13: Wind tunnel modelling of wind effects in engineering. – S. 573–639, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
- RAUTERBERG-WULFF, A., 1998: Beitrag des Reifen- und Bremsenabriebs zur Rußemission an Straßen. – 188 S., Fortschrittsberichte des VDI, Reihe 15: Umwelttechnik Nr. 202. VDI Verlag, Düsseldorf.
- RAUTERBERG-WULFF, A., 1999: Determination of Emission Factors for Tire Wear Particles up to 10 µm by Tunnel Measurements. – Paper presented at 8th International Symposium Transport and Air Pollution, Graz, Österreich 31. Mai – 2. Juni 1999.
- TU Dresden, 2003: Erweiterung des Programmsystems Verkehrsdatenbank-Modul 1: Entwicklung einer Schnittstelle zur Datenübertragung ausgewählter Ergebnisse des Emissionskatasters an IMMIKART zur weiterführenden Immissionsberechnung. Projekt-Nr.: 160104/81, Institut für Verkehrsplanung und Straßenverkehr/Verkehrsökologie.

Anschrift der Autoren:
Dipl.-Geogr. THOMAS BECKER
Dr. rer. nat. LUTZ MAERKER

Institut für Geographie, TU Dresden
Helmholtzstraße 10, D-01069 Dresden
Tel.: 0351-4633-6272
Fax: 0351-4633-7064, e-mail:
Thomas.Becker2@mailbox.tu-dresden.de
Lutz.Maerker@mailbox.tu-dresden.de

Dipl.-Met. ANTJE MOLDENHAUER
Dipl.-Ing. HELMUT LORENTZ
Dr.-Ing. ACHIM LOHMEYER
Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG
Mohrenstraße 14, D-01445 Radebeul
Tel.: 0351-839-1412 und 0351-839-1418 und 0351-839-1414
Fax: 0351-839-1459, e-mail:
Antje.Moldenhauer@lohmeyer.de
Helmut.Lorentz@lohmeyer.de
Achim.Lohmeyer@lohmeyer.de

Dipl.-Math. UWE WOLF
Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Projektgruppe Immissions- und Klimaschutz
Zur Wetterwarte 11, D-01109 Dresden
Tel.: 0351-8312-649, Fax: 0351-8312-652 e-mail:
Uwe.Wolf@lfug.smul.sachsen.de

Beitrag eingereicht: Oktober 2004
Angenommen: November 2004

Kombination von terrestrischen Aufnahmen und Fernerkundungsdaten mit Hilfe der k-Nächste-Nachbarn-Methode zur Klassifizierung und Kartierung von Wäldern

WOLFGANG STÜMER, Dresden & MICHAEL KÖHL, Hamburg

Keywords: remote sensing, terrestrial surveying, forest planning and management, k-nearest neighbours method (kNN)

Zusammenfassung: Im vorliegenden Beitrag wird die k-Nächste-Nachbarn-Methode (kNN-Methode), die terrestrische Aufnahmen mit Fernerkundungsdaten kombiniert, beschrieben. An Hand der zwei Merkmale *Grundfläche* (metrische Daten) und *Totholz* (kategoriale Daten) wurden umfangreiche Berechnungen durchgeführt, wobei verschiedenste Einstellungen der Distanzfunktion, der Wichtungsfunktion und der Anzahl k-Nächsten Nachbarn für die kNN-Methode berücksichtigt wurden.

Als Fernerkundungsdatenquellen kamen Landsat- und Hyperspektraldaten zum Einsatz, die sich sowohl von ihrer spektralen wie auch ihrer räumlichen Auflösung unterscheiden. Mit zwei Landsat-Szenen eines Gebietes vom September 1999 und 2000 wurde der multitemporale Ansatz berücksichtigt.

Die terrestrische Datengrundlage setzt sich aus Felddatenaufnahmen mit verschiedenen Aufnahmedesigns zusammen, wobei ein wichtiges Kriterium die gleichmäßige Verteilung von Merkmalswerten (z. B. Grundflächenwerten) über den Merkmalsraum darstellt.

Die Verifizierung der Ergebnisse wurde mithilfe des prozentualen Root Mean Square Error durchgeführt.

Die erzielten Genauigkeiten für das Merkmal *Grundfläche* liegen zwischen 35% und 67% (Landsat) bzw. zwischen 65% und 67% (HyMapTM). Für das Merkmal *Totholz* liegen die Übereinstimmungen zwischen den kNN-Schätzern und den Referenzwerten zwischen 60,0% und 73,3% (Landsat) und zwischen 60,0% und 63,3% (HyMapTM).

Mit den erreichten Genauigkeiten bietet sich die kNN-Methode für die Klassifizierung von Beständen bzw. für die Integrierung in Klassifizierungsverfahren an.

Summary: *Terrestrial Survey and use of Remote Sensing Data in combination with the k-nearest neighbours (kNN) method for classification and mapping of woods.* Mapping forest variables and associated characteristics is fundamental for forest planning and management. The paper describes the k-nearest neighbours (kNN) method for improving estimates and for producing maps of the attributes basal area (metric data) and deadwood (categorical data). Several alternatives of the kNN-method were tested, including: distance metric, weighting function and number of neighbours. As sources of remote sensing Landsat TM satellite images and hyper spectral data (HyMapTM) were used, which differ both from their spectral as well as their spatial resolutions. Two Landsat scenes from the same area acquired September 1999 and 2000 allowed for multitemporal approaches.

The field data for the kNN-method comprise tree field measurements campaigns which were collected from the test site Tharandter Wald (Germany). The three field data campaigns are characterized by three different sampling designs. The relative root mean square errors (RMSE) and the Bootstrap method were utilized in order to find optimal parameters. The estimated accuracy for the attribute basal area is between 35% and 67% (Landsat) and 65% and 67% (HyMapTM). For the attribute deadwood the accuracy is between 60% and 73% (Landsat) and 60% and 63% (HyMapTM).

Recommendations for operational applications the kNN method for mapping and regional estimation are provided.

Einleitung

Für die Durchführung von Waldinventuren ist der steigende Bedarf an Informationen über Wälder für die nationale und internationale Forst- und Umweltpolitik, die Holzmarktpolitik und zur Erfüllung der Verpflichtungen, die im Rahmen internationaler Verträge, Programme und Initiativen (z. B. Klimaschutz, Pan-Europäischen Prozess zum Schutz der Wälder – Helsinki-Prozess, Zertifizierung, FFH-Richtlinien, Biotopkartierung etc.) zu beobachten. Andererseits werden die finanziellen Ressourcen zur Durchführung von Waldinventuren immer knapper. Die Ergänzung der herkömmlichen Waldinventuren durch Fernerkundungsdaten kann dafür eine Lösung bieten, wie beispielsweise die Landesforstinventur (LFI) in der Schweiz zeigt, wo durch den Einsatz von Fernerkundungsdaten die Kosten gesenkt wurden (WSL, 1999).

An diesem Punkt setzt die hier vorgestellte Untersuchung zur kNN-Methode an (MUONEN & TOKKOLA 1990, TOMPPU 1991, 1993, 1997a, 1997b, FAZAKAS & NILSSON 1996, NILSSON 1997, MALTAMO & KANGAS 1998). Es soll eine Verfahrensalternative weiterentwickelt und verifiziert werden, die über die spektrale Information von Scannerdaten eine räumliche Interpolation von punktförmig erhobenen, terrestrischen Daten ermöglicht und somit eine kartenmäßige Darstellung der räumlichen Struktur durch die Kombination verschiedenster, terrestrisch erhobener Merkmale und aus Satellitendaten abgeleiteter Informationen gestattet. Die Kombination von terrestrischen Daten und Scannerdaten zur Erstellung detaillierter Bestandskarten erfolgt über die kNN-Methode.

Übersicht über die kNN-Methode

Die k-Nächste-Nachbarn-Methode (kNN-Methode) ist ein Verfahren des Maschinellen Lernens, wobei als Lernen jede Änderung der Reaktionsweise eines Systems in Richtung eines optimalen Verhaltens verstanden wird (NIEMANN 1983). Dieses optimale Verhalten wird durch eine Zielfunktion

beschrieben, die durch eine gegebene endliche Stichprobe möglichst gut approximiert werden soll (MITCHELL 1997). Daher kann das Lernen als Suche nach der Hypothese, die die Zielfunktion am besten beschreibt, aufgefasst werden (HESSENMÖLLER 2002). Wird die kNN-Methode zur Klassifizierung verwendet, beschreibt OELLIEN (2002) sie wie folgt: „Die k-Nächste-Nachbarn-Methode ist ein Klassifizierungsverfahren bei dem für einen gegebenen Einzelpunkt der Datenwert gesucht wird, der die größte Ähnlichkeit zu einem bereits klassifizierten Datenpunkt aufweist. Dieser so genannte nächste Nachbar wird dabei mithilfe von Distanz- und Kombinationsfunktionen (in der Regel *Euklidische* Distanzen) ermittelt. Das unbekannte Datenobjekt wird letztendlich derjenigen Klasse zugeordnet, die die höchste Anzahl an ähnlichen bzw. nächsten Nachbarn enthält“.

Bei der Auswertung von Satellitendaten werden für die kNN-Methode Referenzpixel ausgewählt, die mit terrestrischen Erhebungen übereinstimmen. Für ein Pixel ohne entsprechende terrestrische Informationen werden aus der Menge der Referenzpixel die k-nächsten Nachbarn im spektralen Merkmalsraum mithilfe der euklidischen Distanz bestimmt. Für die ausgewählten k Referenzpixel werden die zugehörigen terrestrisch erhobenen Merkmalswerte mit der Distanz im spektralen Merkmalsraum gewichtet und dem Pixel zugeordnet. Dies wird für jedes Pixel wiederholt, bis jedem Pixel der Szene ein Schätzwert des Merkmals zugeordnet ist. Die Klassifizierung von Bilddaten in der Fernerkundung ist nur ein Beispiel für die Anwendung der kNN-Methode. Eine Vielzahl von Objekten in verschiedenen Fachgebieten können mithilfe der kNN-Methode klassifiziert werden. Beispielsweise wird in der Medizin die kNN-Klassifizierung zur Auswertung von MRI-Daten (Magnetic resonance imaging data) und biochemische Substanzen eingesetzt (WARFIELD 1996, QI 2002). Auf dem Fachgebiet der Chemie werden chemische Verbindungen mithilfe der kNN-Methode analysiert (DOWNS & BARNARD 2001) und in der Informatik Datenbankabfragen, wie beispielsweise die Suche

nach Bildern, Videos, Sprache und Dokumenten, realisiert (vgl. DE VRIES et al. 2002, TUNCEL & ROSE 2002).

Die Vorteile der kNN-Modelle gegenüber funktionellen, auf empirischen Parametern beruhenden Verfahren liegt in der Tatsache, das alle zur Verfügung stehenden Beobachtungen in der Schätzung des fehlenden Merkmals direkt berücksichtigt werden. Nachteilig zeigt sich allerdings der enorm hohe Rechenaufwand und die mangelnde Extrapolationsfähigkeit des Ansatzes (HESSENMÖLLER & ELSENHANS 2002).

In der Forstwissenschaft wird die kNN-Methode zur Klassifizierung von Beständen eingesetzt. Im Zusammenhang mit Forstinventuren wurde sie zur Kombination von Satellitendaten und terrestrischen Erhebungen erstmals von KILKKI & PÄIVINEN (1986) beschrieben. TOMPPO (1991, 1993, 1997a, 1997b) entwickelte die kNN-Methode weiter und führte sie in die finnische nationale Forstinventur ein. Dort wird die kNN-Methode zur Herleitung von Resultaten für Verwaltungseinheiten (Forestry Board Districts) verwendet, indem Landsat-TM-Daten mit den terrestrisch erhobenen Daten der finnischen nationalen Forstinventur kombiniert werden. Des Weiteren wurde die Methode im Rahmen der Landeswaldinventur Nordrhein-Westfalen 1997 erprobt (TOMPPO & PEKKARINEN 1997). Die kNN-Methode wurde ursprünglich zur Herleitung von Karten für metrische Daten entwickelt. Da kategoriale Daten keine Mittelwertbildung erlauben, wurde die kNN-Methode im Rahmen des ProSmart-Projektes an der TU Dresden für die Anwendung auf kategoriale Daten erweitert (KÖHL et al. 2000).

kNN-Methode für metrische Daten

Ausgehend von Pixel, deren geografische Position mit den Stichprobenpunkten bei den Feldaufnahmen übereinstimmen, werden für alle Pixel – auch solche, die nicht mit terrestrischen Proben koinzidieren – Variablenwerte (z.B. Holzvorrat, Stammzahl oder Totholzanteil) berechnet. Die Variablenwerte eines Pixels ergeben sich als Mittel-

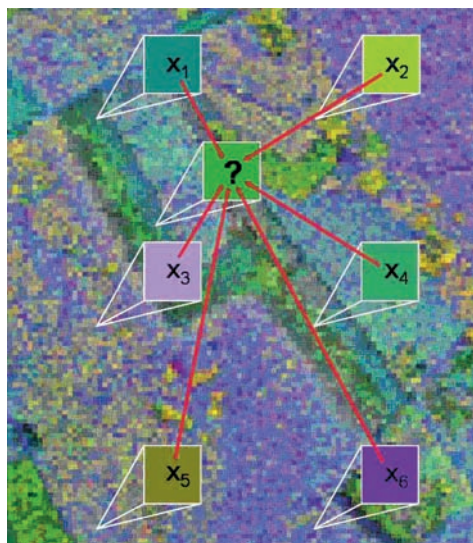


Abb. 1: kNN-Methode. Über bekannte Merkmale von Pixels (x_1 bis x_6) wird über einen Schätzer das unbekannte Pixel (?) klassifiziert.

werte von k benachbarten Proben, die über ein Distanzmaß, das die spektrale Ähnlichkeit beschreibt, gewichtet werden (Abb. 1).

Jedes Pixel enthält pro Kanal einen digitalen Wert als spektrale Information. Die spektrale Differenz zwischen zwei Pixel kann mit Hilfe einer einfachen Metrik bestimmt werden. Ein gebräuchliches Distanzmaß ist die Euklidische Distanz, $d_{(i)p}$, die im spektralen Raum von Pixel p , das klassifiziert werden soll, zu jedem Pixel i , für das eine terrestrische Beobachtung vorliegt, berechnet wird. Falls x_1 und x_2 die Merkmalsvektoren zweier Pixel sind, deren Ähnlichkeit überprüft werden soll, ist die Euklidische Distanz $d(x_1, x_2)$ zwischen ihnen

$$d_{(x_1, x_2)} = \left[\sum_{j=1}^N (x_{1j} - x_{2j})^2 \right]^{1/2} \quad (1)$$

wobei N die Anzahl der spektralen Komponenten (z. B. verwendete Kanäle) bezeichnet. Eine Generalisierung der Euklidischen Distanz ist die Minkowski- r -Distanz (BORTZ 1993). Wird statt des Exponenten 2 (bzw. $1/2$) der Exponent r (bzw. $1/r$) eingesetzt, erhält man eine Verallgemeinerung der

mit der Gleichung (1) beschriebenen Euklidischen Distanz:

$$d_{(x_1, x_2)}^n = \left[\sum_{j=1}^N (x_{1j} - x_{2j})^r \right]^{1/r} \quad (2)$$

Aus $r = 1$ resultiert die City-Block-Metrik (BORTZ 1993), bei der sich die Distanz zweier Punkte aus der Summe der Merkmalsdifferenzen ergibt.

Durch das Variieren des Metrikkoeffizienten werden Merkmalsdifferenzen unterschiedlich gewichtet. Mit $r = 1$ werden alle Merkmalsdifferenzen unabhängig von ihrer Größe gleich gewichtet. Für $r = 2$ erhalten größere Differenzen ein stärkeres Gewicht als kleinere Differenzen. Wird $r = \infty$ gesetzt, wird die größte Merkmalsdifferenz mit 1 gewichtet und alle übrigen erhalten ein Gewicht von 0.

Objekte zeigen einen unterschiedlichen Einfluss auf die Intensität, räumliche Variabilität und den Spektralbereich der Reflexion. Die Spektralbereiche mit einer großen Variabilität in der Rückstrahlung sind meist besser zur Differenzierung von Klassen eines Merkmals geeignet. Die Variabilität der spektralen Information ist in den einzelnen Kanälen unterschiedlich stark ausgeprägt. Um Kanäle mit einer großen Variabilität in der Rückstrahlung und den damit verbundenen Einfluss auf die Unterscheidung von Merkmalsklassen eines Attributes stärker zu wichten, wird in die Distanzformel der Parameter a_j für die Wichtung der Kanäle eingefügt (FRANCO-LOPEZ et al. 2001).

$$d_{(x_1, x_2)} = \left[\sum_{j=1}^N a_j^r (x_{1j} - x_{2j})^r \right]^{1/r} \quad (3)$$

Wählt man den Parameter a_j für $j = 1, \dots, N$ gleich 1, so haben alle Kanäle bei der Berechnung der Distanz das gleiche Gewicht. Es kann aber auch jedem Kanal ein angepasstes Gewicht a_j zuteil werden.

Die $k = 1$ bis $k = 50$ nächsten spektralen Nachbarn, d. h. Pixel mit korrespondierenden terrestrischen Beobachtungen, werden für die weiteren Betrachtungen verwendet. Dabei kommen die Pixel zur Auswahl, die die Bedingung

$$d_{(1),p} \leq d_{(2),p} \leq \dots \leq d_{(k),p} \leq \dots \leq d_{(n),p} \quad (4)$$

im spektralen Raum erfüllen, wobei $d_{(k),p}$ die Distanz der k nächsten Nachbarn und n die Anzahl der verfügbaren Pixel mit korrespondierenden terrestrischen Daten ist. Alle Pixel mit Distanzen im spektralen Raum größer $d_{(k),p}$ vom betrachteten Pixel p werden ignoriert. Bei $k = 1$ wird nur das Pixel mit der geringsten spektralen Differenz für die weitere Berechnung berücksichtigt. Je höher k ist, desto mehr Pixel mit zugeordneten terrestrischen Informationen beeinflussen den zu berechnenden Merkmalswert des Pixels ohne terrestrische Informationen. Die Verwendung von k Stichproben erlaubt es, die beispielsweise durch Signalstörung verursachte, zufällige Streuung einzuschränken.

Die Distanzwerte spiegeln nur die Unterschiede zwischen den spektralen Informationen zweier Pixel wieder. Um die Werte eines bei terrestrischen Aufnahmen erhobenen Merkmals, welche den k nächsten Pixel zugeordnet sind, in die weitere Berechnung einfließen zu lassen, müssen diese entsprechend ihrer spektralen Distanz gewichtet werden. Deshalb wird für jedes ausgewählte Pixel ein Gewicht $w_{(i),p}$ kalkuliert.

$$w_{(i),p} = \frac{1}{d_{(i),p}^2} \cdot \frac{1}{\sum_{i=1}^k d_{(i),p}^2} \quad (5)$$

Je ähnlicher die spektrale Information ist, desto höher ist das Gewicht und damit der Einfluss auf den zu berechnenden Merkmalswert.

MALTAMO & KANGAS (1998) modifizieren (5) zur Bestimmung des Pixelgewichtes

$$w'_{(i),p} = \frac{\left(\frac{1}{1 + d_{(i),p}} \right)^t}{\sum_{i=1}^k \left(\frac{1}{1 + d_{(i),p}} \right)^t} \quad (6)$$

wobei k die Anzahl der nächsten Nachbarn festlegt und t die Wichtung der Distanz be-

einflusst. Je größer t gewählt wird, umso größer ist das Gewicht der Pixel mit geringer spektraler Distanz. Die Summe aller Gewichte $w'_{(i),p}$ beträgt stets 1.

Für ein Pixel wird mit Hilfe der auf terrestrischen Probeinheiten erfassten Merkmalswerte und den zugehörigen, aus spektralen Daten abgeleiteten Gewichten der k nächsten Pixel ein Wert für das Merkmal bestimmt.

\hat{m}_p ist ein Schätzer des Merkmals M für Pixel p

$$\hat{m}_p = \sum_{i=1}^k w_{(i),p} m_{(i),p} \quad (7)$$

wobei $m_{(j),p}$ die terrestrisch erfassten Werte der $i = 1, \dots, k$ Pixel sind, die im spektralen Raum am nächsten zu Pixel p liegen. Der Prozess wird für jedes Pixel wiederholt und resultiert in Abhängigkeit von der Größe der Inventurregion und der räumlichen Auflösung des Sensors in intensiven Berechnungen.

Durch die Wahl der Parameter k , r , t und a_j ist eine Einflussnahme auf den Schätzer möglich. In der Untersuchung wurden über 650 Berechnungen mit verschiedensten Kombinationsmöglichkeiten der Parameter k , r und t durchgeführt. Die Parameter a_1, a_2, \dots, a_j erhielten den Wert 1, da sonst die direkte Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Sensoren unter praxisnahen Bedingungen nicht mehr möglich wäre. Um die optimalen Einstellungen für die Variablen zu erhalten, wurden die Fehler der kNN-Ergebnisse mit dem prozentualen Root Mean Square Error (%RMSE) (Formel 8) bestimmt und die Berechnungsalternative ermittelt, die zum kleinsten %RMSE führte.

$$\text{RMSE}\% = \frac{\sqrt{(\text{Varianz von } \hat{\mu}) + (\text{bias})^2}}{\hat{\mu}} * 100\% \quad (8)$$

kNN-Methode für kategoriale Daten

Die oben gezeigten Schätzprozeduren sind nur für intervall- und absolut skalierte Daten definiert und können unter der Voraussetzung der Permutationsinvarianz nicht auf

rang- oder nominal skalierte Daten übertragen werden. Als Ansatz zur Lösung dieses Problems wird auf eine gewichtete Mittelwertbildung verzichtet und stattdessen die dem betrachteten Pixel zuzuordnende Merkmalsklasse über Wahrscheinlichkeiten hergeleitet.

Zunächst wird wie im metrischen Fall der Abstand der k nächsten Nachbarn im spektralen Raum zu Pixel p bestimmt und die Gewichte $w_{(i),p}$ hergeleitet (Formel 1 bis 6). Jedem der k Referenzpixel ist ein Merkmal j mit s Merkmalsklassen zugeordnet. Für jede der s Merkmalsklassen von j wird die Summe der Gewichte $w_{(i),p}, w_{p,j}$ berechnet.

$$w_{(i),p,j} = \begin{cases} w_{(i),p}, & \text{falls Pixel } p \text{ Attribut } j \text{ zugeordnet ist} \\ 0, & \text{in allen anderen Fällen} \end{cases} \quad (9)$$

$$w_{p,j} = \sum_{i=1}^k w_{(i),p,j} \quad (10)$$

mit $p = 1, \dots, N$; $i = 1, \dots, k$

Aus der Menge der s Gewichte $w_{p,j}$ wird das Maximum bestimmt und das entsprechende Merkmal j mit der entsprechenden Merkmalsklasse s wird Pixel p zugeordnet.

Untersuchungsgebiet und Datengrundlage

Das Untersuchungsgebiet Tharandter Wald liegt ca. 15 km südwestlich von Dresden und ist durch seine große zusammenhängende Waldfläche, das moderate Relief und der strukturreichen Waldformation prädestiniert für die forstliche Fernerkundung.

Als terrestrische Datengrundlage standen drei terrestrische Datenquellen zur Verfügung, die sich durch ihr Aufnahmedesign unterscheiden. Die Aufnahmen werden im folgendem mit Aufnahme 1 bis 3 bezeichnet. Die Aufnahmen 1 und 2 verwenden ein einphasiges Stichprobenverfahren, in dem konzentrische Probeflächen systematisch in einem Raster angeordnet sind. Die Probepunkte der Aufnahme 1 sind zusätzlich in Clustern zusammengefasst. Dem gegenüber steht ein zweiphasiges Stichprobenverfah-

ren, welches im Rahmen der Aufnahme 3 erhoben wurde. Die verschiedenen Aufnahmedesigns ermöglichen eine Optimierung der terrestrischen Datengrundlage für die kNN-Methode und die damit verbundene Senkung der Aufnahmekosten.

Als Fernerkundungsdatenquellen wurden neben einer Landsat-5- (Juli 1989) und zwei Landsat-7-Szenen (September 1999 und 2000) noch jeweils eine HyMapTM- und HRSC-A-Szene verwendet.

Für die Landsat-Szenen wurde am Lehrstuhl für Biometrie und Forstliche Informatik, TU Dresden eine Atmosphärenkorrektur und eine Georeferenzierung durchgeführt (HEHMKE 2001). Für alle drei Landsat-Datensätze wurde eine Hauptkomponentenanalyse (Principle Component Analysis, PCA) realisiert und die vier neu generierten Kanäle dem Ausgangsbild angefügt. Außerdem wurde für alle drei Landsat-Szenen der Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) bestimmt und als Kanal dem Ausgangsbild hinzugefügt. Der NDVI nutzt charakteristische Reflexionsunterschiede zwischen sichtbarem Licht und nahem Infrarot (HILDEBRANDT 1996).

$$NDVI = \frac{IR - R}{IR + R} \quad (11)$$

Die Hyperspektraldaten wurden im August 1998 mit dem Hyperspektralscanner HyMapTM der australischen Firma Integrated Spectronics aufgenommen. Der Scanner zeichnet Daten in einem Wellenlängenbereich von 0,4 bis 2,4 μm in 128 Spektralbändern auf, die geometrische Auflösung betrug bei der gewählten Flughöhe 6 m. Zusammen mit der High Resolution Stereo Camera (HRSC-A) des Instituts für Planetenerkundung, DLR Berlin (LEHMANN et al. 1999) wurde der Hyperspektralscanner in einer Cessna 208 Caravan montiert. Prozessierung, Kalibrierung und Atmosphärenkorrektur der HyMapTM Daten wurden von der DLR, Institut für Optoelektronik durchgeführt (MÜLLER et al. 1999). Die Geokodierung und eine Minimum Noise Fraction Transformation (MNF) der HyMapTM-Daten wurde von der Gesellschaft für Ange-

wandte Fernerkundung (GAF) in München durchgeführt (KÖHL & LAUTNER 2001). Bei der MNF-Transformation wurden die ersten 20 Hauptkomponenten ausgewählt und eine Hyperspektralszene mit 20 MNF-Kanälen erzeugt.

Ergebnisse

Fehleranalyse – Grundfläche

Für die Fehlerwertberechnung wurde eine Vielzahl von Szenarien berücksichtigt. Dazu zählen, unterschiedliche Kanalkombinationen und die Wahl der Parameter k , r und t , wobei k als Schlüsselvariable die Anzahl der verwendeten nächsten Nachbarn definiert. Der Parameter r steht als Exponent bei der Euklidischen Distanz und ermöglicht die Wichtung der spektralen Differenzen der einzelnen Kanäle. Mit dem Parameter t ist wiederum eine Einflussnahme auf die Wichtung der Distanz möglich. Der Einsatz von Stichproben von den drei unterschiedlichen Aufnahmen erlaubt die Untersuchung des Einflusses verschiedener Stichprobenverfahren auf die kNN-Ergebnisse.

Als erstes wurde die Anzahl der zu verwendenden k -nächsten Nachbarn untersucht. Für die Berechnung des %RMSE wurden verschiedene k -Werte in Verbindung mit unterschiedlichen Kanalkombinationen der Landsat-Szenen berücksichtigt. Unter Verwendung der nur vom Sensor bereitgestellten Kanäle ist der kleinste %RMSE von 38,56% bei der Landsat-Szene von 1999 zu beobachten. Werden diese Kanäle durch die PCA- und NDVI-Kanäle ergänzt, wird bei der multitemporalen Szene von 1999/2000 ein Minimum von 37,07% erreicht (Tab. 1). In Abb. 2 werden die Ergebnisse der kompletten k -nächsten Nachbarn-Wertereihen für die Landsat-Szenen unter Verwendung aller Kanäle inkl. PCA- und NDVI-Kanäle dargestellt. Die Zusammenführung zweier Landsat-Szenen zu einer multitemporalen Szene und die Verwendung dieser bei den kNN-Auswertungen führen zu einem Genauigkeitsgewinn, der bei Verwendung aller Kanäle sein Maximum erreicht.

Bei den Hyperspektraldaten konnte kein temporaler Ansatz untersucht werden, da

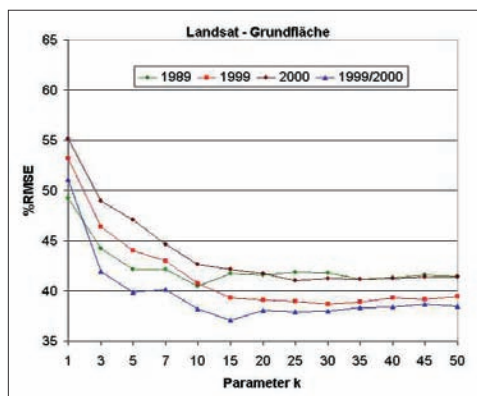


Abb. 2: %RMSE der Grundfläche von vier Landsat-Szenen (alle Kanäle inkl. PCA und NDVI) für verschiedene k -Werte (alle Stichproben; $r = 2$, $t = 2$).

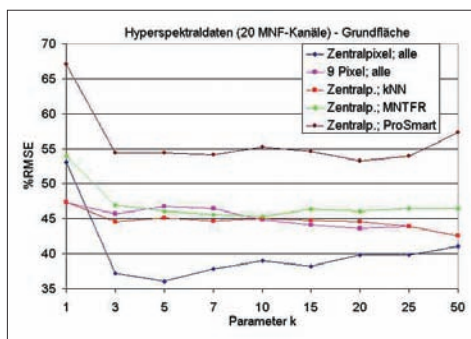


Abb. 3: %RMSE der Grundfläche der transformierten Hyperspektralszene (20 MNF-Kanäle) für die Variante „Zentralpixel“ und „9 Pixel“ (MNTFR = Aufnahme 1; kNN = Aufnahme 2; ProSmart = Aufnahme 3; alle = alle Stichproben der Aufnahmen 1 bis 3).

nur eine Szene zur Verfügung stand. Der Szene mit 128 Kanälen wurde die transformierte Szene mit 20 MNF-Kanälen gegenübergestellt und die Fehlerwerte für die *Grundfläche* verglichen. Der kleinste %RMSE für die 128-kanalige-Szene beträgt 41,79% bei $k = 75$ und für die 20-kanalige-Szene 36,05% bei $k = 5$. Die transformierte

Szene bringt bei den kNN-Rechnungen einen Genauigkeitsgewinn (Tab. 1).

Als nächstes wurde der Unterschied zwischen den zwei Varianten Zentralpixel und Mittelwertbildung der 9 Pixel über der Stichprobe untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass die Zentralpixelvariante zu den kleineren %RMSE-Werten führt (Abb. 3).

Tab. 1: Kleinste beobachtete %RMSE der Grundflächenschätzung für Landsat und HyMap™ von verschiedenen kNN-Varianten (bei den Varianten wurden alle Probenpunkte der drei Aufnahmen verwendet).

Szene	Landsat 1999	Landsat 1999/2000	Landsat 1999/2000	HyMap	HyMap	HyMap
Kanäle	1–5; 7	alle; PCA; NDVI	alle; PCA; NDVI	128	20 MNF	20 MNF
Parameter k	25	15	9	75	5	4
Parameter r	2	2	10	2	2	2
Parameter t	2	2	0,6	2	2	0,1
Grundfläche [m ² /ha]	37,59	37,59	37,59	34,02	34,02	34,02
Grundfläche (kNN) [m ² /ha]	38,03	36,58	35,71	35,39	34,57	35,02
Bias [m ² /ha]	– 5,96	– 4,51	– 3,63	– 3,32	– 2,50	– 2,95
Standardfehler	13,40	12,79	11,49	14,41	12,21	12,00
MSE [m ² /ha] ²	215,15	183,95	145,33	218,78	155,30	152,81
RMSE [m ² /ha]	14,67	13,56	12,06	14,79	12,46	12,36
%RMSE	38,56	37,07	33,76	41,79	36,05	35,29

Die terrestrisch erhobenen Stichproben haben durch ihre Anzahl und Verteilung einen entscheidenden Einfluss auf die kNN-Ergebnisse. Bei dem Attribut *Grundfläche* kamen die drei terrestrischen Aufnahmen 1 bis 3 und eine vierte Variante mit allen Stichproben zum Einsatz. Für die Hyperspektraldaten sind die %RMSE-Werte der vier Varianten in Abb. 3 gegenübergestellt und zeigen bei Verwendung aller Stichproben die kleinsten Fehlerwerte. Für die kNN-Methode wird eine Verteilung der Stichprobenpunkte über die gesamte Merkmalsklasse benötigt, was näherungsweise durch die Verwendung aller Stichprobenpunkte (354 Punkte bei Landsat bzw. 263 bei HyMapTM) erreicht wird. Die unterschiedlichen Aufnahmedesigns haben wegen ihrem anteilmäßig geringen Stichprobenumfang nur einen untergeordneten Einfluss auf die Ergebnisse. Beim Vergleich der Varianten treten allerdings erhebliche Unterschiede zwischen den Aufnahmen auf. Das schlechte Abschneiden der Aufnahme 1 ist auf das Fehlen von Stichproben in Jungbeständen und der damit verbundenen Überschätzung der Grundfläche zurückzuführen. Die Verteilung der Proben erstreckt sich nicht über den gesamten Merkmalsraum, sondern deckt vor allem Bestände mit einer mittleren und hohen Grundfläche ab. Auch die beiden anderen Aufnahmen beschränken sich auf einen Teil des Merkmalraums, wobei die aufgenommenen Proben unterschiedliche Bereiche abdecken. Durch die Zusammenführung der Stichproben wird ein breiter Bereich abgedeckt und damit ein entsprechender Genauigkeitserfolg erzielt.

Wird bei der Euklidischen Distanz der konstante Exponent durch den Exponent r ersetzt, erhält man einen Metrikoeffizienten, der die Wichtung von spektralen Differenzen der einzelnen Kanäle ermöglicht. Für die Berechnungen wurden verschiedene r -Werte untersucht. Der Einfluss des Parameters r auf die Wichtung einzelner Kanäle und die damit verbundene Gesamtdistanz bewegt sich in sehr engem Rahmen. Die maximale Differenz des minimalen und maximalen %RMSE für die verwendeten Szenen beträgt 4,06 %. Trotz des geringen Einflusses

wird bei $r = 10$ eine Minimierung des %RMSE auf 36,63 % (Landsat 1999/2000; $k = 10$; $t = 2$) bzw. bei $r = 4$ auf 36,01 % (HyMapTM; $k = 5$; $r = 2$) erreicht.

Für weitere Berechnungen wurden die Ergebnisse der kNN-Berechnungen mit den k -, r - und t -Wertreihen zusammengeführt, um eine optimale Kombination dieser drei Parameterwerte zu finden (Tab. 1). Unter Verwendung aller terrestrischer Proben wurde für die multitemporale Landsat-Szene von 1999/2000 bei $k = 9$, $r = 10$ und $t = 0,6$ ein %RMSE von 33,76 % gefunden. Bei den Hyperspektraldaten wurde bei Verwendung der 20 MNF-Kanäle und der Auswahl von vier nächsten Nachbarn bei $t = 0,1$ ein Minimum des %RMSE mit 35,29 % gefunden (Tab. 1). Eine weitere Minimierung des Fehlers ist mit den gegebenen Einstellungen und Daten nicht möglich.

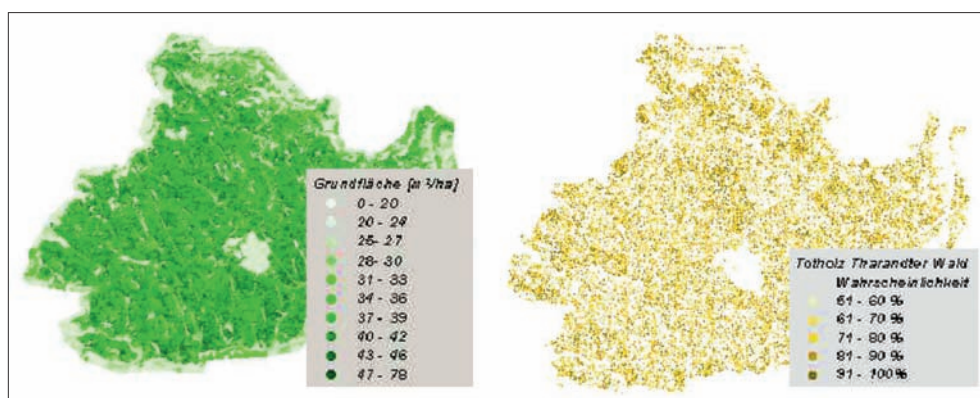
Fehleranalyse – Totholz

Da das Attribut *Totholz* nicht metrisch skaliert ist, wird statt des %RMSE ein alternativer Ansatz zur Fehleranalyse verwendet. Es wurden 30 terrestrisch erhobene Werte, die als Referenzpunkte zufällig ausgewählt wurden und nicht in die kNN-Berechnungen einfließen, mit den über den kNN-Ansatz berechneten Werten verglichen und über die Anzahl der Übereinstimmungen eine Genauigkeitsaussage getroffen. Die Aussage über das Auftreten oder des Nichtauftretens von *Totholz* wird über die Berechnung der Eintrittswahrscheinlichkeit mit Hilfe der kNN-Methode getroffen. Die Wahrscheinlichkeitsschwelle für die Zuordnung zur Merkmalsklasse *Totholz* wurde bei allen Ergebnissen bei 50 % festgelegt.

Die größte Anzahl Übereinstimmungen wurde bei Verwendung der Landsat-Szene vom September 2000 mit Integrierung aller Kanäle (inkl. PCA und NDVI) und aller Stichproben mit 22 Übereinstimmungen (73,3 %) erreicht (Tab. 2). Beim Vergleich der Ergebnisse bezogen auf die verwendeten Kanäle erhält keine Variante den Vorzug, da sich bei den Landsat-Szenen von 1989, 1999 und 1999/2000 die Ergebnisse bei Auswahl aller Kanäle verschlechtert und bei der Szene von 2000 verbessert. Die Parameter r und

Tab. 2: Totholz-Fehlerwerte unter Verwendung aller Stichproben ($p^2 = 50\%$)

Szene/Shift-Algorithmus (HyMap™)	Landsat 1989	Landsat 99/00	Landsat 2000	HyMap™ Zentralp.	HyMap™ 9 Pixel
Kanäle	1–5,7	1–5, 7, 14–18, 20	alle	20 MNF	20 MNF
Parameter k	50	5	2	15	1
Parameter r	2	5	2	2	2
Parameter l	2	2	2	2	2
Übereinstimmungen (max. 30 möglich)	21	21	22	18	19
Übereinstimmungen in Prozent	70,0	70,0	73,3	60,0	63,3

**Abb. 4:** kNN-Karten für die Merkmale *Grundfläche* und *Totholz* vom Tharandter Wald (Ausgangsdaten Landsat-7-Szene von 1999/2000 alle Kanäle + PCA + NDVI).

t bringen einen Genauigkeitsgewinn, der bei der Szene von 1999/2000, die den multitemporalen Ansatz vertritt, nachgewiesen werden konnte. Allerdings ist zu beachten, dass sich die Abweichungen der Anzahl der Übereinstimmungen zwischen den verschiedenen Fehlerrechnungsvarianten zwischen 1 (3,3 %) und max. 3 (10 %) in einem kleinen Rahmen bewegen (Tab. 2).

kNN-Karten

Die mit Hilfe der kNN-Methode errechneten Karten zeigen für jedes einzelne Pixel den über die Grauwerte der Kanäle ermittelten Wert für die Attribute *Grundfläche* und *Totholz*. Zur besseren Darstellung wurden Klassen gebildet und diese aussagefähigen

Farben zugeteilt. Bei *Totholz* sind die beiden Merkmalsklassen *vorhanden* oder *nicht vorhanden* möglich, weshalb die aus der kNN-Berechnung geschätzte Eintrittswahrscheinlichkeit für das *Totholz* zur Klassenbildung herangezogen wurde.

kNN-Grundflächen- und -Totholzkarten vom Tharandter Wald entstanden aus der Landsat-Szene 1999/2000 sind in Abb. 4 und aus den Hyperspektraldaten in Abb. 5 zu finden.

Diskussion

Ziel dieser Untersuchung war es, eine umfangreiche Analyse der kNN-Methode in Hinblick auf die Eignung und Genauigkeits-

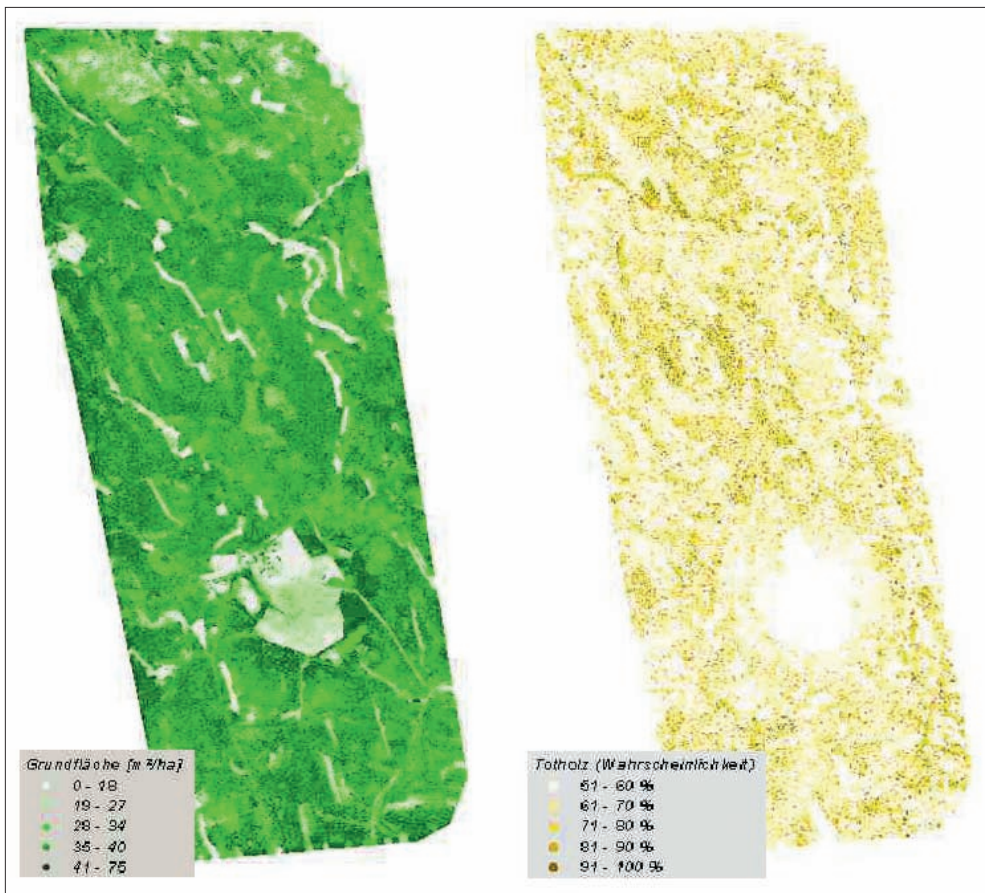


Abb. 5: kNN-Grundflächen- und Totholz-Karte für den Teil des Tharandter Waldes, der von der Hyperspektralszene (20 MNF-Kanäle; Zentralpixel) abgedeckt wird.

aussage zur Herstellung von Bestandeskarten vorzunehmen. Als terrestrische Datengrundlage kamen drei Datenquellen zum Einsatz, die sich durch ihr Aufnahmedesign unterscheiden. Insgesamt wurden 542 Proben im Tharandter Wald, der einer Fläche von ca. 6000 ha aufweist, aufgenommen, was einer Auswahlintensität von ca. 0,1 Proben pro Hektar entspricht. Diese Proben-dichte kann als ausreichend für aussagekräftige kNN-Ergebnisse betrachtet werden (vgl. FRANCO-LOPEZ et al. 2001, NILSSON 1997). Bei einer separaten Betrachtung der Aufnahme 1 stehen 260 Proben für die kNN-Berechnungen zur Verfügung. Dies entspricht einem Durchschnitt von 0,04 Pro-

ben pro Hektar. Auch diese Anzahl an Proben kann als ausreichend für die kNN-Methode betrachtet werden. Voraussetzung dafür wäre allerdings die Verteilung der Proben über den gesamten Merkmalsraum, wie beispielsweise die Gleichverteilung der Proben auf jede Grundflächenklasse. Dies ist aber nicht gegeben, da nur sehr wenige Stichproben in Jungbeständen und eine überproportionale Anzahl in Altbeständen liegen. Der hohe Grundflächenmittelwert von 44,9 m²/ha der Stichproben der Aufnahme 1 bestätigt diese Verteilung. Proben mit einem Grundflächenwert kleiner 15 m²/ha sind nur begrenzt vorhanden. Diese Konstellation führt bei den kNN-Berech-

nungen zur Überschätzung der Grundflächenwerte, da für die k -nächsten Nachbarn Proben mit großen Grundflächenwerten herangezogen werden. Dies lässt den Schluss zu, dass für die Erstellung von k NN-Karten eines Gebietes ohne Über- bzw. Unterschätzung des Merkmals die repräsentative Stichprobenerhebung über den gesamten Merkmalsraum mit der an den k -nächsten Nachbarn angepassten Anzahl eine entscheidende Rolle spielt. Dieses Problem könnte mit einer sehr hohen Anzahl von Stichproben, beispielsweise einer Probe pro Hektar, begegnet werden. Zu beachten ist aber, dass eine hohe Anzahl nicht gleichzusetzen ist mit einer gleichmäßigen Verteilung über den gesamten Merkmalsraum. Mit Hilfe eines zweiphasigen Stichprobenverfahrens, wie bei der Aufnahme 3 bewerkstelligt, kann eine Optimierung hinsichtlich der Gleichverteilung der terrestrischen Datengrundlage für die k NN-Methode und die damit verbundene Senkung der Aufnahmekosten erfolgen.

Bei einer Überschätzung der Grundfläche bei den k NN-Berechnungen liegen die k NN-Schätzer über den realen Werten. Dies wird bei der Fehleranalyse durch den Vergleich der Schätzer mit den Referenzproben geprüft. Mit Hilfe des Bias, der die Treffgenauigkeit wiedergibt, steht ein Maß für die systematische Abweichung zwischen den Schätzern und den Referenzwerten zur Verfügung. Bei den Fehlerberechnungen der Aufnahme 1 liegt der Bias zwischen -7 und $-12 \text{ m}^2/\text{ha}$ und auch bei Verwendung aller Proben der drei Aufnahmen erreicht er noch Werte zwischen -2 und $-5 \text{ m}^2/\text{ha}$. Somit steht mit dem Bias ein Maß zur Kontrolle der Verteilung der Proben über den Merkmalsraum zur Verfügung. Bei einer optimalen Verteilung sollte der Bias bei Null liegen.

Die in der Untersuchung erzielten Genauigkeiten für die Grundfläche liegen zwischen 35 % und 67 % bei Verwendung der Landsat-Daten und zwischen 65 % und 67 % bei Hyperspektraldaten. Vergleicht man die mit den beiden gewählten Auflösungen erreichten Ergebnissen dieser Untersuchung mit Ergebnissen aus anderen Untersuchungen, ist eine differenzierte Betrachtung

weise nötig. Die Einschätzung der Eignung von Landsat-TM-Daten zur Erkundung des Waldes und der dabei erzielbaren Genauigkeiten schwankt stark. Beispielsweise gibt SCHARDT (1998) in einer Abhandlung über die Eignung von Landsat-TM-Daten für die Erfassung forstlicher Parameter in Abhängigkeit vom Untersuchungsgebiet für bestimmte Klassenschemata der Artenzusammensetzung und der natürlichen Altersklasse eine Genauigkeit von ca. 85 % an. Dagegen findet sich in der umfassenden Rückschau von HOLMGREN & THURESSON (1998) eine weitaus pessimistischere Einschätzung der Nutzbarkeit multispektraler Satellitendaten für die forstliche Planung. HOLMGREN & THURESSON stellen unter anderem fest, dass die erreichbaren Genauigkeiten für verschiedene Merkmale im Allgemeinen zwischen 65 % und 85 % liegen. Die Genauigkeiten im Rahmen dieser Untersuchung liegen in diesem Bereich. Es ist davon auszugehen, dass mit einer Optimierung der terrestrischen Aufnahmen und einer optimalen radiometrischen und geometrischen Korrektur der Fernerkundungsdaten eine höhere Genauigkeit möglich ist.

Für das Merkmal *Totholz* liegen bei der Fehlerrechnung die Übereinstimmungen zwischen den k NN-Schätzern und den Referenzwerten zwischen 60,0 % und 73,3 % (Landsat) bzw. zwischen 60,0 % und 63,3 % (HyMapTM). Auf dieser Genauigkeitsbasis stellen die mit der k NN-Methode erstellten Totholzkarten eine gute Arbeitsgrundlage dar.

Bei der Anzahl der k -nächsten Nachbarn wurde für das Merkmal *Grundfläche* bei Verwendung der Landsat-Daten und Auswahl des kleinsten prozentualen RMSE (37,07 %; $r = 2$; $t = 2$) ein k -Wert von 15 ermittelt. Dies steht im Einklang mit anderen Untersuchungen, die 10 bis 15 nächste Nachbarn als Optimalwert herausfanden (FRANCO-LOPEZ et al. 2001, NILSSON 1997, TOKOLA et al. 1996, TOMPPU 1996). Bei Verwendung der HyMapTM-Daten und einem kleinsten erreichten %RMSE von 36,05 % ($r = 2$; $t = 2$) sind 5-nächste Nachbarn ausreichend. Die durch die spektrale wie räumliche höhere Auflösung vorhandene differen-

ziertere und genauere Informationsdichte scheint es zu ermöglichen, in der spektralen Information fast identische Nachbarn zu finden und somit mit wenigen Nachbarn auszukommen. Bei Betrachtung des Merkmals *Totholz* liegen sowohl für die Landsat-Daten wie für die Hyperspektraldaten die meisten Übereinstimmungen zwischen den kNN-Schätzern und den Referenzproben bei k -Werten zwischen 1 und 7.

Dies lässt den Schluss zu, dass durch eine höhere Übereinstimmung der spektralen Reflexion einzelner Nachbarn bei den kNN-Berechnungen mit wenigen k -nächsten Nachbarn genauere Ergebnisse erzielbar sind.

Bei der Distanzfunktion, die bei der kNN-Methode die spektrale Differenz zwischen zwei Pixel bestimmt, kann durch den Parameter r eine unterschiedliche Wichtung einzelner Kanäle erfolgen. Die erzielten Ergebnisse und die damit verbundene Gesamtdistanz bewegen sich in sehr engem Rahmen. Die maximale Differenz des minimalen und maximalen %RMSE für Landsat- wie Hyperspektraldaten beträgt 4,06 % (Grundfläche). Trotz des geringen Einflusses wird bei $r = 10$ eine Minimierung des Fehlers auf 36,63 % (Landsat; $k = 10$; $t = 2$) bzw. bei $r = 4$ auf 36,01 % (HyMapTM; $k = 5$; $t = 2$) erreicht. Mit einer Anhebung des r -Wertes fließen hohe spektrale Differenzen einzelner Kanäle mit einer größeren Wichtung in der Gesamtdistanz ein und dies führt zu einer Verschlechterung der Gesamtdistanz. Umgekehrt bedeutet dies, dass Pixel mit relativ homogenen spektralen Differenzen der einzelnen Kanäle bevorzugt werden. Dies führt bei der Gesamtbetrachtung der kNN-Methode zu genaueren Ergebnissen.

Mit der Einführung des Parameters t ist eine Einflussnahme auf die Gewichtung der als k -nächsten Nachbarn ausgewählten Pixel und ihrem zugeordneten Merkmalswert über die Distanz möglich. Je größer t gewählt wird, umso größer ist das Gewicht der Pixel mit geringer spektraler Distanz. Für die Landsat-Daten wurde ein Optimum des t -Wertes von 0,6 gefunden. Die den als k -nächsten Nachbarn ermittelten Pixeln zugeordneten Merkmalswerte fließen mit nur

geringem Unterschied, abhängig von der spektralen Distanz, in den Merkmalswertschätzer ein. Eine Heraushebung einzelner Pixel der k -nächsten Nachbarn wegen ihrer geringen spektralen Distanz führt zu einer Verschlechterung der kNN-Ergebnisse.

Die in dieser Untersuchung gewonnenen Erkenntnisse können als Richtwerte für den Einsatz der kNN-Methode gelten. Trotzdem sollte bei einem Einsatz der kNN-Methode in anderen Untersuchungsgebieten und bei Ermittlung anderer Merkmalswerte Probe-rechnungen durchgeführt werden, um für die jeweils gegebenen Bedingungen die Optimalwerte zu erreichen.

Dank

Diese Studie wurde im Rahmen des Projektes „Kombination von terrestrischen Aufnahmen und Fernerkundungsdaten mit Hilfe der kNN-Methode zur Kartierung von Waldökosystemen“ durchgeführt, das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung und vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt initiiert und finanziell gefördert (FKZ 50EE0037) wurde. Wir danken Dr. LÜTTENBERG, DLR Bonn, einen Teil der Ergebnisse der Studie in diesem Rahmen darstellen zu dürfen. Für die Bereitstellung der Hyperspektraldaten im Rahmen des Vorhaben ProSmart danken wir der Infoterra GmbH und der Astrium GmbH, Friedrichshafen.

Literatur

- BORTZ, J., 1993: Statistik für Sozialwissenschaftler. – Berlin, Springer.
- DOWNES, G.M. & BARNARD, J.M., 2002: Clustering of very large datasets. – Sheffield, UK BCI Barnard Chemical Information Ltd.
- WSL (Hrsg.) 1999: Das Landesforstinventar. – In: Schweizerisches Landesforstinventar, Ergebnisse der Zweitaufnahme 1993–1995, Haupt Verlag, Bern.
- FAZAKAS, Z. & NILSSON, M., 1996: Volume and forest cover estimation over southern Sweden using – a VHRR data calibrated with TM data. – Remote Sensing Environment **17**: 1701–1709.

- FRANCO-LOPEZ, H., EK, A. R. & BAUER, M. E., 2001: Estimation and mapping of forest stand density, volume, and cover type using the k-nearest neighbors method. – *Remote Sensing of Environment* **77**: 251–274.
- HEHMKE, M., 2001: Untersuchung von Landschaftsveränderungen an der ehemaligen innerdeutschen Grenze mit Hilfe von Landsat TM-Daten. – Diplomarbeit am Lehrstuhl für Biometrie und Forstliche Informatik TU Dresden, 62 S.
- HESSENMÖLLER, D., 2002: Modelle zur Wachstums- und Durchforstungssimulation im Göttinger Kalkbuchenwald. – Dissertation, Forstwissenschaftlicher Fachbereich der Georg-August-Universität Göttingen.
- HESSENMÖLLER, D. & ELSENHANS, A.S., 2002: Zur Schätzung des Zuwachses bei Rotbuche *Fagus sylvatica* L. – Ein Vergleich parametrischer Verfahren mit der k-nearest neighbour Methode. – *Allg. Forst- u. J.-Ztg.*, 173. Jg., 11-12.
- HILDEBRANDT, G., 1996: Fernerkundung und Luftbildmessung. – Wichmann Verlag, Heidelberg.
- HOLMGREN, P. & THURESSON, T., 1998: Satellite remote sensing for forestry planning – a review. – *Scandinavian Journal Forest Research* **13**: 90–110.
- KILKKI, P. & PÄIVINEN, R., 1986: Weibull function in the estimation of the basal-area dbh-distribution. – *Silva Fennica* **20**: 149–156.
- KÖHL, M. & LAUTNER M., 2001: Erfassung von Waldökosystemen durch Hyperspektraldaten. – *Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation* **2001**(2): 107–117.
- KÖHL, M., STÜMER, W., SCHEUBER, M., ZIESE, H., HÄUSSLER, T. & LAUTNER M., 2000: Combining hyperspectral data and ground surveys for the assessment of non-wood goods and services of forests. – In: BUCHROITHNER, M.F.: *A Decade of Trans-European Remote Sensing Cooperation*. – Proceedings of the 20th EARSeL Symposium, Balkema Publishers, Tokyo.
- LEHMANN, F., PISCHEL, R. & WEWEL, F., 1999: Teilvorhaben HRSC-A. – In: ProSmart Endbericht, Daimler Chrysler Aerospace, Dornier Satellitensysteme, Friedrichshafen: 5/1 – 5/33.
- MALTAMO, M. & KANGAS, A., 1998: Methods based on k-nearest neighbor regression in the prediction of basal area diameter distribution. – *Canadian Journal Forest Research* **28**: 1107–1115.
- MITCHELL, T., 1997: *Machine learning*. – McGraw Hill.
- MUONEN, E. & TOKKOLA, T., 1990: An application of remote sensing for communal forest inventory. – In: *The usability of remote sensing for forest inventory and planning*. – Proceedings from the SNS/IUFRO workshop in Umea, 26–28 February, 1990, 35–42.
- MÜLLER, A., RICHTER, R. & HAUSOLD, A., 1999: Teilvorhaben HyMap. – In: ProSmart Endbericht, Daimler Chrysler Aerospace, Dornier Satellitensysteme, Friedrichshafen, 3/1 – 3/32.
- NIEMANN, H., 1983: *Klassifikation von Mustern*. – Springer-Verlag, Berlin.
- NILSSON, M., 1997: *Estimation of forest variables using satellite image data and airborne lidar*. – Doctoral thesis, Swedish University of Agricultural Sciences, Umea.
- QI, H., 2002: *Feature Selection and kNN Fusion in Molecular Classification of Multiple Tumor Types*. – Electrical and Computer Engineering Department, University of Tennessee.
- SCHARDT, M., 1998: Erfassung forstlicher Parameter mittels Landsat TM-Daten. – *AFZ – Der Wald* **24**: 1461–1463.
- TOMPPA, E., 1991: *Satellite image-based national forest inventory of Finland*. – *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* **28** (7-1): 419–424.
- TOMPPA, E., 1993: *Multi-source national forest inventory of Finland*. – In: *Proceedings of Ilvesalo symposium on National Forest Inventories*. – The Finnish Forest Research Institute, Research papers 444: 52–59.
- TOMPPA, E., 1997a: *Application of remote sensing in Finnish national forest inventory*. – In: *Application of remote sensing in european forest monitoring*. – International workshop proceedings, Vienna, Austria: European Commission, CL-NA-17685-EN-C, 14–16 October 1996, 375–388.
- TOMPPA, E., 1997b: *Recent status and further development of the Finnish multi-source forest inventory*. – In: *Managing the resources of the world's forests, Lectures given at the 1997 Marcus Wallenberg Prize Symposium, The Marcus Wallenberg Foundation Symposia Proceedings*, Falun, Sweden, 53–69.
- TOMPPA, E. & PEKKARINEN, A., 1997: *Methodenprobung der Finnischen Nationalen Multiquellen-Waldinventur in Nordrhein-Westfalen*. – In: *Landeswaldinventur – Konzeption, Verfahrenstest, Ergebnisse, Schriftenreihe der Landesforstverwaltung Nordrhein-Westfalen Heft 5*, 52–67.
- TUNCEL, E. & ROSE, K., 2002: *Towards Optimal Data Clustering for Approximate Similarity Searching*. – In: *IEEE International Conference on Multimedia and Expo, Lausanne, Switzerland, August 2002*.

VRIES, A. P. DE, MAMOULIS, N., NES, N. & KERSTEN, M., 2002: Efficient k-NN Search on vertically decomposed data. – ACM SIGMOD 2002, Madison, Wisconsin, USA.

WARFIELD, S., 1996: Fast k-NN Classification for Multichannel Image Data. – Pattern Recognition Letters, **17**: 713–721.

Anschriften der Autoren

Dr. WOLFGANG STÜMER

Technische Universität Dresden

Institut für Waldwachstum und Forstliche Informatik

Pienner Str. 18, D-01737 Tharandt

Tel.: +49 351 463 31620

Fax: +49 351 463 31632

e-mail: wolfgang.stuemer@forst.tu-dresden.de

Prof. Dr. MICHAEL KÖHL

Universität Hamburg

Fachbereich Biologie, Zentrum Holzwirtschaft,

Arbeitsbereich Weltforstwirtschaft

Leuschnerstr. 91, D-21031 Hamburg

Tel.: +49 40 7396 2100

Fax: +49 40 42891 2665

e-mail: m.koehl@holz.uni-hamburg.de

Manuskript eingereicht: Oktober 2004

Angenommen: November 2004

Animating Geodata Exemplified by the Dresden „Altai-GIS“

NIKOLAS PRECHTEL, Dresden & KATJA LONDERSHAUSEN, Kassel

Keywords: cartography, animation, GIS, Altai, snow dynamics, virtual flight, visual communication

Summary: Compared to static geodata presentations, animations obviously perform superior in displaying temporal dynamics. Dynamic sequences also help in adjusting the information flow to the user's capabilities.

From the Dresden „Altai-GIS“ animated sequences have been produced. Several transformations of GIS data must precede the generation of the animation: Properties of the final display media, the complexity of the geometry model, the field of view of the virtual camera, the integration of secondary graphic elements (like legends or scale bars), and suitable exchange formats all have to be observed. Moreover, a realistic perception of an animated sequence can only be achieved with a constant time scale – a conflict in the frequent case of unevenly spaced observation data. A necessary prediction of the state of the dynamic elements in-between the observations should primarily aim at realism and, only secondarily, at a nice graphic result.

Zusammenfassung: *Animation von Geodaten am Beispiel des Dresdner „Altai-GIS“.* Die klassische grafische Ausgabeform von GIS-Daten ist die statische Karte. Sollen jedoch Veränderungen von Geoobjekten in Raum und Zeit veranschaulicht werden, so ist eine animierte Darstellung überlegen. Außerdem lassen sich über dynamische Verfahren weitere Probleme grafischer Informationsübertragung reduzieren, indem man z.B. die Komplexität durch sequentielle Wiedergabe von Teildatenbeständen mindert.

Aus ausgewählten Daten des Dresdner „Altai-GIS“ wurden Animationen erzeugt. Diese sind in einen Film integriert, der den Rahmen zu methodischen Arbeiten lieferte und eine Projektdokumentation für ein breiteres Publikum darstellt. Animationen gingen in unterschiedlicher Form ein:

- non-temporal, (virtuelle Überflüge) und
- temporal (saisonale Schneedynamik).

Zur Realisierung der Animation mussten automatisierte Verfahren zur zielgerechten Datenaufbereitung gesucht und implementiert werden. Dabei waren verschiedenste Randbedingungen zu beachten, wie z.B.: Parameter des Wiedergabemediums, Art des Geometriemodells in der Animationssoftware, Verfahren der Grafikfusion zur Einblendung von Legende und Maßstäben, geeignete Austauschformate.

Ein exemplarisches Problem stellt die Erzeugung einer Animation aus Zeitreihen mit primär unregelmäßiger Beobachtungsfrequenz dar, denn nur ein konstantes Zeitinkrement in einer Animationssequenz birgt die Chance einer realitätsnahen Perception. Der somit notwendige Aufbau einer gleichabständigen Zeitreihe erfordert ein realitätsnahes Prozessmodell, für das ein Beispiel gegeben wird.

1 Introduction

Ten years work on the German-Russian co-operation project „Altai-GIS“ have resulted in a large geodata base dedicated to support ecological monitoring and planning of the Siberian mountain system. The elaborate state of the GIS and its dynamic contents, which call for an equally dynamic presentation, were motivations for a film intending to address a wider audience. Nearly all visual material of the documentation „*The Russian Altai – New Approaches to Comprehend a Landscape*“ (LONDERSHAUSEN 2004) has been extracted from the GIS. Contents of the GIS suitable for „animated presentation“ were combined with static maps and scanned photographs in order to form a comprehensive visual source covering as well geographic features of the study area as specific Dresden research topics and results. A block-by-block organisation of the storyboard allows the appending of material without the need for future restructuring. This paper reports on the technical part of the creation of dynamic data bases and their transformation into „animated“ film sequences.

2 Animation of Geodata

2.1 Definitions

Animation is the synthetic creation of image sequences that appear to show metamorphosis or movement of objects or a mobile observer. Whereas video breaks up continuous motion into frames, animation works with independent pictures. The illusion of continuous movement results from *persistence of vision* meaning that an image is retained in the brain longer than it is actually registered on the retina (ATARI 1984). At a frame rate of above 24 images per second, a dynamic sequence will be perceived instead of individual frames (DRANSCH 1997, 2002). Animation is more than a slide show, since it operates with variable and stable image contents. The latter are perceptible links between consecutive frames.

2.2 Animation – a Method of Visual Communication

Compared to a static display, animation adds the dimension of time as a „creative“ design variable. Dynamic components help to overcome difficulties in visual communication – the principal transmitter of geo-information:

Firstly, sequential presentation *reduces complexity*. Graphic problems caused by a small display and resolution restrictions become less frequent whilst simplified graphic contents help in not overstraining the capabilities of the spectator.

Secondly, *order of appearance, visual emphasis, and presentation time* of objects/object classes can be predetermined: a much stricter control of the information flow compared for instance to the individual's preference during an exploration of a map display. The antagonism caused by a *large spatial coverage and a display in full resolution* can be reduced, when a moving camera sequentially scans a landscape model, however, at the expense of total spatial synopsis. Limited capabilities of static media in documenting *variations of two- or three-dimensional objects* in time are the most apparent reasons for animation. Thereby, a visual model obtains a spatial and a time scale.

Animation modes have been labelled after the dynamic component (GERSMEHL 1990):

- Stage-and-Actor Animation, where objects vary in visibility and graphic design in front of a static background,
- Model-and-Camera Animation, where viewing or illumination parameters change in time, and
- Metamorphotic Animation, where ever-present objects vary in shape and extent in time.

Depending on the role of time, we can further separate into *temporal and non-temporal animation*. If the first makes use of forecast models or scenarios, we speak of a *predictive animation*. Furthermore, animations can be structured by checking for realism. If real-world processes are utilised, the fraction of observed or measured states (typical-

ly „key frames“ in a sequence) compared to simulated ones is crucial.

2.3 Animation and GIS Features

When relating animation methods to a GIS, several benefits become apparent:

A high thematic depth and a well-structured set of attributes are GIS features which inhibit simultaneous presentation. To clearly separate between semantic and graphic attributes is a generally accepted rule, which gives, on the other hand, flexibility in object selection and graphic symbolisation for each frame.

From imagery and terrain or surface models, flight-overs or walk-throughs with some degree of immersion can both be produced. A spatial overview can be achieved by watching a whole sequence, whereas areas of highest interest can be positioned close to the optical axis of the virtual camera. Pictorial (from imagery) and abstract elements (from map data) might be used simultaneously, but display of a wholly abstract animated landscape can also be informative.

There is no geodata without implicit or explicit *time reference*. Analytical tasks might even specifically rely on temporal change. Whenever ideas or formal models of the type, extent and distribution of dynamics are missing, an animated visualisation provides the most efficient access to an *exploration* of changes in terms of individual events and associated patterns. This, in return, encourages the development of new hypotheses and eventually new process models. Even if a process model exists in advance, its results may be proved against observations through animation.

3 The Dresden Altai-GIS

3.1 Objectives and Contents

The idea of animation should now be linked to the „Altai-GIS“: Spatial coverage is large, and themes are of a high diversity (see Tab. 1). Data structures comprise vector layers, grids, maps and images.

The GIS, in general, needs to lay-out an informative foundation for use in management of conservation. Use might also contribute to the idea of eco-tourism, which attempts to combine socio-economic improvement on site with a wider ecological awareness, education and experience (PRECHTEL & BUCHROITHNER 2002).

The GIS is set up in two levels: The focus level, termed „Altai 100“, covers the Katun-Range in the Central Altai (about 10,000 km²). An overview level – „Altai 1000“ – depicts the whole mountain system including its forelands (about 430,000 km²). The name suffixes „100“ and „1000“ indicate levels of detail corresponding to map scales of 1 : 100,000 and 1 : 1,000,000, respectively. A more detailed discussion of contents, sources and methodology might be taken from PRECHTEL (2003), PRECHTEL & BUCHROITHNER (2003), or the project homepage (PRECHTEL 2004).

3.2 Contents Suiting Animated Presentation

Animations in particular suggest themselves for two reasons:

On the one hand a basismaterial for *temporal animation* was at hand. A „snow cover“ series of „Altai 1000“ formed a strong base. Variations of glacier extents theoretically would provide another source. But low observation frequency and a weak empirical data base for a prediction of the ice dynamics in-between observations inhibit an animated model at present.

On the other hand, *non-temporal* Model-and-Camera animations can additionally promote the mental idea of the landscape character. They will incorporate DEMs and satellite imagery, land cover raster or vector layers, respectively.

4 Non-Temporal Animation – a Virtual Flight

4.1 Pre-processing of the DEM

Two raster DEMs („DEM500“ and „DEM100“ of Tab. 1) were used as principal

Tab. 1: Data of the Dresden Altai GIS (without imagery).

	Data Contents	Data Level			
		ALTAI 100: Areal Coverage 49° 40' N – 50° 20' N, 85° 30' E – 87° 00' E		ALTAI 1000: Areal Coverage 48° 00' N – 53° 00' N, 82° 00' E – 93° 00' E	
Category	Data Layer	Data Type	Elements	Data Type	Elements
Relief	Digital Elevation Models	Raster	DHM 100, DHM 10, SRTM-3	Raster	DHM 500, SRTM-3
	Spot Elevations	Point		Point	
	Gauge Elevations	Point		Point	
	Hill Shading	Raster	Elevation tints & shading	Raster	elevation tints & shading
Geomorphology	Relief Facets	Polygon	type of neat lines	–	
	Macro-Relief Types	–		Polygon	
	Morphological Mountain Edge			Polygon	
Drainage	Rivers	Line		Line	Strahler Order
	Streams	Polygon		Polygon	
	Lakes	Polygon		Polygon	
	Watersheds/Catchments	Polygon		Polygon	
	Late Pleistocene Meltwater Lakes			Polygon	
Cryosphere	Glacier and Perennial Snow	Polygon		Polygon	
	Actual Glacier Fronts	Line	glaciers of Belukha massif 2001–2004	–	
	Ice Age Glacier Front	–		Polygon	
Land Cover	Forest, General	Raster, Polygon		Polygon	
	Forest, Classified	Raster, Polygon	deciduous, coniferous, mixed; krummholz	–	
	Meadows and Pastures, General	Raster, Polygon		Polygon	
	Meadows and Pastures, Classified	Raster, Polygon	marshy meadow, dry meadow, hill zone meadow, alpine meadow, mountain tundra	–	
	Void of Vegetation	Raster, Polygon	rock and scree	–	
Settlements	Settlements	Polygon		Point	function, population
	Streets	Line		–	
	Blocks	Polygon		–	
	Single Buildings, Sheds and Shelters	Point		–	
Communication	Roads and Pathes	Line	major road, minor road foot path	Line	major road, minor road foot path
	Railroads	–		Line	
Administration	State Borders	Line		Line	
	Administrative Borders			Polygon	
	National Park Borders	Polygon		Polygon	
Climatology	Meteo-Stations	–		Point	temperature and precipitation
	Snow Cover Time Series	–		Raster	1997, 1998
	NDVI time Series	–		Raster	1997, 1998, 1999
Geology	Faults	–		Line	
	Tectono-Stratigraphic Units	–		Polygon	
	Ore Resources	–		Point	
Facilities	Conservation, General Administration	Point		–	
Documentation	Photo Points	Point		–	

geometry sources. The pre-processing of GIS-stored relief data for use in animations had to effectuate

- an optimum harmony between geometric and textural information,
- a complexity reduction of the DEM for subsequent rendering, and
- a migration to a 3D vector representation as an interface to the rendering software.

Even small geometric mismatches noticeably diminish the quality of a virtual landscape: it is crucial, that principal relief structures do well coincide with the drainage or shade patterns of the image texture. In-house software tools particularly helped in improving the original DEMs to show, for instance, flat lake surfaces and continuous gradients in runoff direction of the rivers.

Softimage|3D in the version 3.9.1 was chosen for the production of the animation (with a friendly assistance of the staff of the Dresden University Computing Centre). Strict limits to the maximum number of meshes of its internal geometry model called for a DEM thinning without a violation of the above cited integrity demands. Arc/Info TIN generation allows a controlled limiting of the number of meshes. The raster DEMs constituted the bulk of data. A forced introduction of selected spot elevations, break and form lines resulted in edge geometries which finally adapted well to the prominent landscape structures. Depending on the pre-defined camera path, TINs of varying geometric detail could be produced and amalgamated, in order to arrive at smaller triangles along the camera axis and a slightly thinned fabric towards the margins.

Two final models have been tailored to a Landsat ETM mosaic of 66,000 km² which is covering major parts of the Altai Republic. A third was created for a low altitude flight and panoramic panning within the inner study area. A geometry transfer to Softimage|3D could be realised through the universal VRML code.

4.2 Realisation of the Animation

Three-dimensional landscape visualisations consist of a geometry which emulates the shape of terrain, and a texture overlay which contributes to complexity and visual realism of a scene (SUTER 1997).

After importing the geometry to Softimage|3D, edges between the triangular planes with angles below 60° were smoothed. All elevation entries were vertically exaggerated by 1.5 to strengthen the visual relief impression.

Landsat ETM bands 3,2 and 1 from two scenes were transferred to Softimage|3D as RGB-TIFF data after radiometric corrections for shadow zones and light haze. Optical surface properties were set matt in order not to conflict with the illumination at date and time of image take. Additionally, a dome with a skylight-like brightness distribution and synthetic clouds was designed around as a model atmosphere.

Flight animations deal with variation of observer position and view angle relative to a model landscape. Key frames are defined by camera co-ordinates and focus, whereas the motion is interpolated along a splined path for in-between frames. Obviously, one makes sure that model edges are invisible, in order to establish a natural horizon. For the main sequence, an S-shaped path from the lowlands to the highest mountains was defined. A small camera icon simultaneously scans a sketch map at the display edge and helps to localise the actually portrayed section.

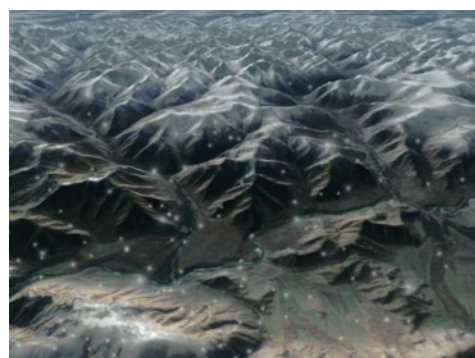


Fig. 1: The virtual Altai during wintery snowfall.

A second sequence showing a winter landscape works with a fixed camera position and a panoramic pan. Falling snow was created with Softimage|Particle to thematically lead over to the film topic of snow cover change (Fig. 1).

5 Temporal Animation – Seasonal Snow Dynamics

5.1 Snow Cover from AVHRR-14 Data

Research on snow cover dynamics has initially been funded by a NATO Collaborative Linkage Grant. We had picked a two-year observation period (1997/98) for the existence of high-resolution reference imagery. The study has been based upon AVHRR-14 images.

A series of snow masks became the principal data source for the animation. However, before proceeding to the animation task, principles of the snow classification (HÖPPNER & PRECHTEL 2002) shall be mentioned.

A pre-selection of AVHRR level 1B data from NOAA's SatelliteActiveArchive came first. Almost 1000 archived scenes of 1997/98 partly or fully cover the target area. This vast number had to be rigidly filtered. Suitability meant:

- Study area located within a 35° viewing cone (to limit resolution degradation and relief displacements),
- cloud coverage low or – if present – outside of major snow fields,
- high number of observations at the peak of snow dynamics.

5.2 Radiometric Preprocessing and Rectification

Only 42 scenes could be retained. Sophisticated image applications need a conversion of greyvalues into reflectance or brightness temperature. *Data calibration* at data user's side means post-flight calibration, and mainly corrects for insolation, sensor degradation and thermal attenuation effects.

The planimetric accuracy of geometric *rectification* using ephemeris data of the header files is in a range of 0.05°–0.1° (CRACKNELL 1997), a corresponding altitude variance of an extracted snowline might be 2000 m and more in the Altai's mountainous relief: substantial geometric improvement had to be achieved. A cloud-free summer scene with high radiometric dynamics and a minimum snow has been identified as the master image. Its primary rectification by ephemeris data has then been refined by manually positioned Ground Control Points (GCPs). GCPs at shorelines – relatively unambiguous features in most AVHRR data – could be found in a reasonable distribution, so RMS residuals obtained from a polynomial transformation immediately dropped to around one pixel. The rectified master scene then served as a uniform reference for image-to-image registration, a method that delivers more homologue points than an image-to-map search. For a final geometric fine-tuning of all co-registered scenes, an automated step was finally added. It compares image shorelines to reference shorelines taken from maps, and iteratively produces a mutual best fit. A gradient descent method is applied to the rastered reference model and serves for a global geometric rating (PRECHTEL & BRINGMANN 1998). The program improves the geometric fit by allowing small global shift, rotation or rescaling of the image, depending upon the best possible improvement compared to the preceding step.

5.3 Snow Classification and Interpolation under Clouds

Now the classification proper had to be carried out. After an evaluation of studies addressing snow extraction from AVHRR, a method developed at Bern University has been chosen (VOIGT et al. 1999). The author describes a pixel-based, hierarchical method using spectral or bi-spectral thresholds. A basic set of input values, derived from our own imagery and from exterior findings, gave an introduction point for a raw classification, which had then to be evaluated.

Thereafter if needed, threshold alterations were applied until the results were in good accordance with a careful visual interpretation. Control aids were given by: the „snow-vegetation-view“ (AVHRR-1, NDVI and reflective part of AVHRR-3), and the „snow-cloud-view“ (AVHRR-1, AVHRR-2 and the reflective part of AVHRR-3). Besides a snow mask, a cloud mask was generated, which leads over to the remaining problem of classification gaps under small cloud clusters. Our solution assumes that the snow line is the best predictable measurand, when analysed per „Snow Cover Unit“ (SCU), meaning a snow segmentation by terrain inclination and aspect. Stratified by SCUs, all DEM cells bordering snow clusters of the classification have been triangulated. Then, all locations above the predicted snow line within the no-data islands could be added to the snow class.

In the context of the animation, these „refined“ observations could now form key frames. But to arrive at an evenly spaced time series, a methodology still required to be found which was, in the same time, both simple and also close to the processes of snow accumulation and depletion. The latter demand excludes methods such as morphing.

5.4 From Unevenly Spaced to Daily Snow Assessments

The interpolation algorithm takes into account that the extent of snow mostly varies with terrain altitude. Snow melt usually starts in the lowlands and valleys to gradually migrate uphill whereas fresh snow cover begins to build up in higher elevation first to eventually migrate downhill. More complicated climatic processes of a local scale (luff-lee effects, snow drift, insolation, etc.) had obviously to be disregarded in a large-area presentation (100,000 km²).

Firstly, two consecutive AVHRR classifications were analysed for spatial differences. „Change of snow“ pixels were then clustered (using an 8-cell neighbourhood). This makes it possible to subdivide clusters of

spatial increase or decrease into a number of evenly-spaced altitude intervals and their member cells, respectively, which can sequentially be filled or freed of snow according to the number of days between two consecutive observations. However, discontinuous precipitation behaviour (e.g. periods of stagnant snow cover, times of fast melting or spreading of fresh snow) means that such a simulation appears rather unrealistic. Aiming for higher realism meant incorporating supplementary meteorological data. Daily precipitation measurements in a suitable spatial distribution were and will not be available due to a lack of stations within the vast uninhabited parts of the Altai. But, alternatively, the „Northern Hemisphere Snow and Ice Cover Chart“ by NOAA is a source that shows snow/ice extents on a daily base, even if aggregated to a poor spatial cell resolution of around 25 km × 25 km. Therefore it cannot replace the original observations (500 m × 500 m-cells), but appears to be useful as a temporal predictor of variation. Some preparatory processing was required in order to advance its integration:

- conversion to binary snow mask
- projection change and vectorisation to harmonise with the „Altai 1000“ GIS standards.

Now, the chart was toughened up to predict the temporal and – in a lower resolution – spatial behaviour between two AVHRR observations. As a result, the altitude-dependent interpolation lost its schematic and linear behaviour. Variation of each observed snow cluster could be initiated or terminated in a reaction to the state shown in the „coarse“ daily Snow and Ice Cover Chart. The simulated snow fall and snow melt now realistically stagnates or speeds up. In spite of good correlation between high- and low-resolution snow cover from these independent sources, some contradictory patterns emerged. Therefore, dynamic clusters in the classification without indication in the Snow and Ice Cover Chart had to be processed according to the simple linear altitude step principle explained above.

Following these rules, daily snow masks from January 12, 1997 to December 16, 1998 could be produced. The few days from 1st of January, 1997 to the first observation day as well as the missing days from the last observation to the end of 1998 were simply added by copies of the closest frame. This should be a passable solution because of the small variation in high-winter snow.

5.5 Realisation of the Animation

The „DEM500“ geometry could be used as in the case of the flight animation. Synthetic land cover textures from „Altai 1000“ land cover (Tab. 1) serve as background for the presentation. This will be called a Stage-and-Actor Animation (comp. chap. 2.2): the stage is the landscape portrayed by geometry and landcover texture; the actor is the snow dynamically screening parts of the underlying texture.

By comparison to the above, whilst the landscape state is changing, the virtual camera remains stable. The original 730 masks had to be duplicated in order to reduce the animation speed to a more suitable pace for the perceptive abilities of the spectator (58.4 seconds or 1460 frames). They are all treated as individual frames, whereas „black“ pixels indicate transparency. Additional shading from an infinite light source enhances the relations between relief and snow. A diagram in the corner of the display illustrates the temporal progression and dynamically

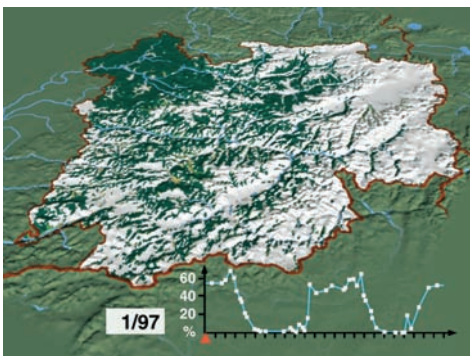


Fig. 2: Frame showing high-winter snow cover (January, 1997).

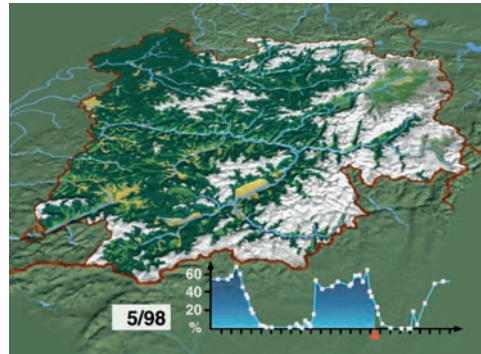


Fig. 3: Frame showing a situation during snow melt (May, 1998).

informs about the actual percentage of snow covered land. Technically, it becomes a second small animation over the same time range. Axes and graphs with markers at each classification date (key frame) are stable, whilst the pointer and the filling below the graph are following the snow cover frames (Figs. 2 and 3).

6 Demand for Further Research

The film clearly shows the advantages of dynamic geodata presentation. Some principal deficiencies, within the process from concept to technical realisation, motivate further research and can be grouped into the categories:

- theory of visual communication,
- display techniques, and
- production techniques.

Referring to *communication theory*, little is known about average perception capabilities of different user groups. Unfortunately there is no clear guidance on the limits of visual comprehension in relation to complexity of visual geo-information within a dynamic sequence. Many potential problems are inherent within the snow cover sequence: patterns of various size change in different relative positions and velocities. The dynamic time scale also has to be kept in view. At the same time, the presentation speed is rather fixed because of the missing data for additional frames, and the minimum neces-

sary frame rate (see 2.1). As a result, an eventually overstrained user may only react by repeating a whole sequence or by stopping it at points he wishes to focus upon. It is noted that a sound track might have alternatively been used for the time relation in order to simplify the visual canal.

This leads over to *display techniques*. Standard control functions of for instance a DVD player are limited. Flexible zoom, speed alterations, and cuemarks would give higher flexibility, especially for work with educational or scientific material. As a low-effort response to the problem, we created a selection menu which already allows the starting of predefined sequences by a mouse click.

Geodata display on electronic devices brings a lot more difficulties: a small display area with limited resolution, and device-dependent colour reproduction are obvious problems. Less known is the impossibility to equally fulfil the display requirements of both a computer monitor and a TV set (MÄUSL 1995). The latter not only suffers from even lower resolution compared to PC monitors, but also an uneven side-ratio of the pixels. Computer-generated frames of 768 by 576 pixels have to be resampled to 720 by 576 pixels to show correct dimensions on a television. Alternating „writing cycles“ between even and odd lines of the image matrix in a frequency of 50 Hz (PAL standard) cause flickering along horizontal lines with static image signals. This is clearly less of a problem for filmed sequences but more noticable in animations with a static camera.

Production techniques. Quite an efficient automated data flow from GIS-stored geodata to an animation software has already been achieved, but further improvements could both smooth it and speed it up. Examples can be given: for use in animations, the level of detail (LOD) of a DEM should react to camera perspectives. Built-in LOD steering, of software at hand, performed unsatisfactorily. A „work-around“ using full-sized TINs with different tolerances therefore became necessary. Cutting-lines parallel to the flight path were generated, and,

finally, a new TIN mosaic was assembled. A smarter solution would perform thinning within one step, using a distance-dependent elevation tolerance function. Texture handling could also be improved. If texture means a colour-coded area mosaic, the work-flow is quite simple: tabular data relates polygon attributes of a coverage to codes, which will then become cell values of a raster representation with size and resolution both set to the animation standards. A further table can now connect the cell values to the desired colour scheme, and the RGB-image matrix can be exported using a supported format. However, if object properties are displayed by complex textures (e.g. a forest by individual trees) or with varying visual properties, no smooth interface exists to the „animation world“. If dynamic legends are produced, some user interaction is also required. As stated above, these are handled as independent sequences in the software, and, only within a second step, become fused with the other image contents.

This article could only select a few aspects from a wide field of potential further research. Effort in improving dynamic geodata presentations will be fully justified. Limitations by hardware performance, software functionality and data availability are currently small and will further decrease in future.

7 References

- ATARI, 1984: Computer Animation Primer. – <http://www.atariarchives.org/cap/showpage.php?page=4>.
- CRACKNELL, A.P., 1997: The Advanced Very High Resolution Radiometer. – Taylor & Francis, London.
- DRANSCH, D., 1997: Computer-Animation in der Kartographie. Theorie und Praxis. – Springer, Berlin/Heidelberg.
- DRANSCH, D., 2002: Lexikonstichwort „Animation“ – In: BOLLMANN, J. & KOCH, G. (Hrsg.): Lexikon der Kartographie und Geomatik. – Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg/Berlin.
- GERSMEHL, P.J., 1990: Choosing Tools: Nine Metaphors of Four-Dimensional Cartography. – *Cartographic Perspectives* 5: 3–17.

- HÖPPNER, E. & PRECHTEL, N., 2002: Snow Cover Mapping with NOAA-AVHRR Images in the Scope of an Environmental GIS Project for the Russian Altai (South Siberia). – Proc. ICA Comm. on Mountain Cartography, Mt. Hood, Oregon, May, 15–19, 2002, http://www.karto.ethz.ch/ica-cmc/mt_hood/proceedings.html: 26 p.
- LONDERSHAUSEN, K., 2004: Erstellung einer animierten kartographischen Präsentation von und aus Inhalten eines komplexen Geoinformationssysteme im Kontext der Dresdener Altaiforschung. – 112 p., Diploma Thesis, Inst. f. Cartography, Dresden Univ. of Techn.
- MÄUSL, R., 1995: Fernsehtechnik: Übertragungsverfahren für Bild, Ton und Daten. – Hütthig, Heidelberg.
- PRECHTEL, N., 2003: GIS-Aufbau für den Naturschutz im Russischen Altai. – Geoinformationssysteme – Theorie, Anwendungen, Problemlösungen. – Kartographische Bausteine **21**: 82–100.
- PRECHTEL, N., 2004: Geodatenerhebung, GIS-Aufbau und Kartenerstellung für den Katun-Nationalpark, Altai-Gebirge (Sibirien) – Projekthomepage: <http://www.tu-dresden.de/fghjik/altai.htm>.
- PRECHTEL, N. & BRINGMANN, O., 1998: Near-Real-Time Road Extraction from Satellite Images Using Vector Reference Data. – Internat. Arch. Photogrammetry and Remote Sensing **XXXII** (2): 229–234.
- PRECHTEL, N. & BUCHROITHNER, M. F., 2002: The Contribution of Remote Sensing to Alpine Tourism in Protected Landscapes. The Example of the Altai Mountains. – Grazer Schriften der Geographie und Raumforschung **37**: 15–34.
- PRECHTEL, N. & BUCHROITHNER, M. F., 2003: Establishing an Environmental GIS for Mountain Regions: The Altai Example. – Proc. of „GIS Ostrava 2003“, Jan., 26–29, CD-publication, 11 p., Ostrava Univ. of Techn.
- SUTER, M., 1997: Aspekte der interaktiven Real-Time 3D-Landschaftsvisualisierung. – Dissertation, Philos. Faculty II of Zürich University.
- VOIGT, S., KOCH, M. & BAUMGARTNER, M. F., 1999: A Multichannel Threshold Technique for NOAA AVHRR Data to Monitor the Extent of Snow Cover in the Swiss Alps. – Interactions Between the Cryosphere and Greenhouse. Proc. of IUGG 99 Symposium, Birmingham, IAHS Publications **256**: 35–43.

Addresses of the authors:

Dr. rer. nat. NIKOLAS PRECHTEL
 Institut für Kartographie
 Technische Universität Dresden
 01062 Dresden
 e-mail: Nikolas.Prechtel@mailbox.tu-dresden.de

Dipl.-Ing. KATJA LONDERSHAUSEN
 INTEND Geoinformatik GmbH
 Ludwig-Erhard-Straße 12, 34131 Kassel
 e-mail: londershausen@intend.de

Manuskript eingereicht: Oktober 2004
 Angenommen: Oktober 2004

Modeling of Three-Dimensional Geodata Sets for True-3D Lenticular Foil Displays

MANFRED BUCHROITHNER, KLAUS HABERMANN & THOMAS GRÜNDEMANN, TU Dresden, Institute for Cartography

Keywords: cartography, geodata sets, 3D visualization, Lenticular Foil Display

Zusammenfassung: *Modellierung dreidimensionaler Geo-Daten für Echt-3D-Lentikular-Displays.* Basierend auf der konzeptionellen Idee „von der 3D-Kamera zum 3D-Bild“ erfolgte die prototypische Herstellung der Echt-3D-Karte der Granatspitzgruppe der Ostalpen unweit von Österreichs höchstem Gipfel, dem Großglockner (3794 m). Weil die Hochgebirgsregion um das Alpenzentrum Rudolfshütte international als Ski-, Wander-, Fels- und Eisklettergebiet bekannt ist, soll die beschriebene Karte auch touristischen Anforderungen entsprechen. Eine Echtfarb-Bild-Strich-Karte in Echt-3D erscheint geeignet, die Wünsche der Outdoor-Sportler am ehesten zu erfüllen.

Der Beitrag gibt einen Überblick über die Grundlagen und verschiedenen Methoden der 3D-Visualisierung, gefolgt von der Beschreibung der 3D-Datenerstellung auf Basis der High Resolution Stereo Camera (HRSC), entwickelt vom Institut für Weltraumsensorik und Planetenerkundung beim Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR). Die ausgezeichneten radiometrischen Parameter der Bilddaten sind eine sehr gute Grundlage für eine Echtfarbdarstellung dieses Gebietes mit hoher Reliefenergie-Gipfel bis über 3000 m, klare Bergseen und schneebedeckte Gletscher.

Im Bestreben, die Karte ohne Sehhilfen wie Polarisationsbrillen betrachten zu können, fiel die Entscheidung, die Lentikularlinsen-Technologie zu verwenden. Diese Mikrolinsen auf der Oberseite einer transparenten Kunststoffolie erlauben es dem Kartennutzer, das Integral aus zwei oder mehr ineinander verschachtelten Stereopartnern getrennt mit dem linken und rechten Auge wahrzunehmen. Diese Methode gestattet die spontane Erfassung des Reliefeindrucks. Die Berechnung der Bildstreifen selbst und deren Verschachtelung, das sogenannte Interlacing, erfolgt mit kommerziell verfügbarer Software für Bildverarbeitung, Fernerkundung, CAD, DTP und 3D-Modellierung.

Summary: Following the conceptual idea „from 3D sensor and data to 3D view“, the production of a prototyp true-3D image map of the Granatspitz Massif in the Eastern Alps, near Austria's highest peak, Grossglockner (3794 m), is described. Since the mountains around the Alpine Centre Rudolfshütte in the Austrian Alps represent an internationally renowned skiing, hiking, rock- and ice-climbing site, the envisaged map should and by now is able to respond to an existing tourism demand. A true-colour image-line map in true 3D appears to cover the requirements of outdoor sportsmen best.

The paper gives an overview about the basics and the different methods to generate 3D visualizations, followed by a description of the 3D data generation based on the High Resolution Stereo Camera (HRSC) developed by the German Aerospace Centre (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, DLR). The excellent radiometric properties of the imagery proved ideal for a true-colour depiction of this high-relief terrain containing both clear water bodies and snow-covered glaciated peaks reaching above 3000 m.

In order to be able to view the map without viewing aids like polarization glasses the decision was made to generate it on the basis of lenticular lenses. These micro-lenses on the surface of a transparent plastic foil allow the map user to view the integral of two or more interlaced strips of stereo-mates through this foil with the left and right eye respectively. This method provides the possibility of a spontaneous true-3D visualization. The calculation of both the strip width and the interlacing is done by means of commercially available software for image processing, remote sensing, CAD, DTP and 3D modeling.

Due to the interlacing of the sub-millimeter strips of the stereo-mates and the resulting decomposition in x direction, the integration of well-designed and easily legible signatures and lettering.

Abhängig vom Interlacing der sub-millimeterbreiten Bildstreifen und der resultierenden Auflösung in x-Richtung stellt die Integration von gut gestalteten und leicht lesbaren Signaturen und Namensgut eine Herausforderung dar. Im Beitrag werden das Prinzip der Lentikularlinsen, die Bildkartenerstellung und teilweise die kartographischen Aspekte mit ihren verschiedenen Details für Signaturen und Beschriftung dargelegt.

Die spontane Erfassung des Reliefeindrucks macht die Nutzung von Höhenlinien und Höhenkoten keineswegs überflüssig. Es ist allerdings notwendig, diese Information anzupassen. Die Äquidistanz konnte wesentlich höher als bei konventionellen Karten gewählt werden. Darüber hinaus war es nützlich, die natürlichen Schattengebiete zur Vermeidung von Effekten der Reliefumkehr entschieden aufzuheben.

Bedeutende Schritte bei der Kartenherstellung waren die Registrierung der Kartendaten auf die Geometrie der Lentikularfolie und die Feinabstimmung von Druckauflösung, Bildtiefe und Anzahl der Stereopartner. Die mit der HRSC aufgenommenen Bilddaten bestimmten letztendlich bei einem Druckformat von 60 cm * 80 cm das Kartenfeld von 42 cm * 54 cm und den Bildmaßstab von 1 : 17.500.

Weitere Forschungen dienen der Vervollkommnung von Signaturierung und Beschriftung.

ings represent a challenge. The paper describes the lenticular lens principle, the image map generation and, in particular, the actual cartographic work with different approaches for both signatures and lettering.

The spontaneous recognition of the relief makes the use of elevation contours and spot heights not dispensable. It is, however, necessary to adjust this information. The contour interval has for example to be chosen bigger than in a conventional map. Furthermore, it proved beneficial to brighten the natural shadow areas for the prevention of relief reversion effects.

Important steps in the production process were the registration of the map data to the geometry of the lenticular foil and the fine-tuning of print resolution, image depth and number of stereomates. The image data received by the HRSC determined the size of the map field (42 cm * 54 cm), of the whole map format (60 cm * 80 cm) and the scale (1 : 17.500).

Future research will be concentrated on signaturation and lettering.

1 Background and Motivation

Based on unpublished studies of MANFRED F. BUCHROITHNER more than 60 percent of all map users are not in the position to spontaneously derive information about the third dimension from conventional topographic maps (even with hill-shading). This applies especially to high-relief terrain. The studies were carried out in the 1970ies and 1980ies, the probationers were members of high-alpine hiking courses. The findings of these tests triggered today's efforts to enable the map user – or better the map reader – to spontaneously perceive the relief information with unaided eyes, i.e. without the use of either anaglyph glasses, polarisation glasses or chromadepth glasses.

In a first step a high-mountain map based on the principle of a whitelight-transmission-hologramme (holo-stereogramme)

was produced (BUCHROITHNER & SCHENKEL 1999, BUCHROITHNER 2000, KIRSCHENBAUER & BUCHROITHNER 1999). Until present the necessity of illumination with coherent light and the high production costs prevent the successful practical implementation of high-quality holographic maps.

Therefore, other possibilities for true-3D hardcopies were searched, following the idea of better acceptance by the map readers and – primarily – significant lower production costs. Some years ago the first promising tests with lenticular foils took place at the Institute for Cartography of the Dresden University of Technology. The positive echo caused by these first test-pieces made the authors optimistic for the production of large-format high-mountain maps.

2 Basics of Lenticular Method

2.1 Principle

The lenticular method uses a transparent synthetic foil for the stereo-image separation. On its upper side there are semi-cylindrical parallel micro-lenses running in vertical direction. The bottom side is plain and represents simultaneously the image plane. The lenses focus incoming optical rays at the image plane, which means that focal and image plane are identical.

Following OKOSHI 1976 „the word ‚lenticular‘ is originally an adjectival form of lens. It is merely a matter of custom that we use this word only for the cylindrical lens sheet, but not for fly’s-eye lens sheet.“ Consequently, the exclusive use of this term is nowadays generally accepted as the correct name for this technique.

Under the lenses interlaced lamellar „sub-images“ are arranged. The lenticular image will be generated in a way that under every lense one pixel column of all stereo-mates is arranged (cf. Fig. 2).

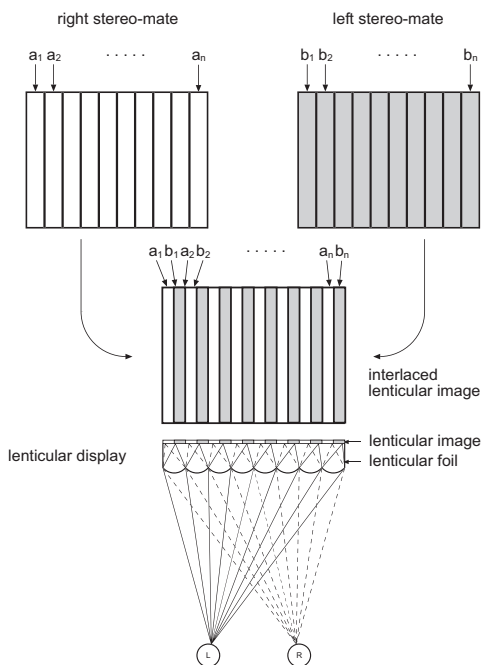


Fig. 1: Interlacing of „subimages“ and principle of 3D lenticular method.

The interlaced „subimages“ are projected in different directions, based on the optical properties of the lenses. Consequently, the left and the right eye perceive different stereo-mates. This explains why it is possible to extract spatially separated image information from only one hardcopy.

For the consideration of the individual eye distances and for a smoothly „sliding“ viewing angle it is advisable to increase the number of subimages, i.e. stereo-mates, from two to five and more. Thus, the observer obtains a certain degree of freedom for side-movements and laterally oblique views. The increase of the corresponding possible parallaxes allows the perception of more perspectives, and the lenticular image can be perceived from different directions. So a „moving parallax“ and the multi-user capability is realised (BAHR 1991). As long as one stereoscopic image pair is perceivable, a true 3D impression is perceivable.

2.2 Characteristics of Lenticular Foils

Shape and size of the lenses determine the characteristics of a lenticular foil. The important parameters are:

- lens density (number of lenses per unit length) or lens width w
- radius r
- thickness of lenticular foil t
- aperture angle of the lenses ϕ
- refractive index n .

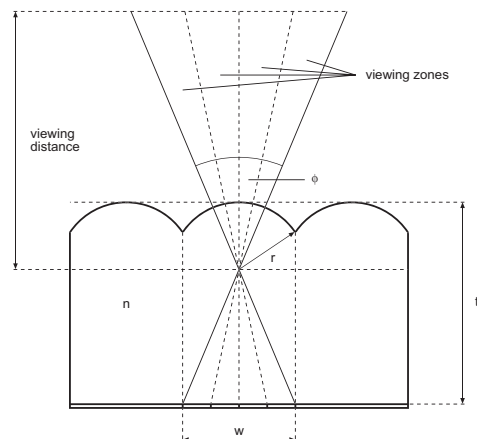


Fig. 2: Parameters of the lenticular foil.

One of the most important parameters of a lenticular foil is the lens density: common is the declaration in lenses per inch. The choice of the lens density determines factors like:

- size of the perceived pixels (resolution of the lenticular image),
- number and width of the subimages/lenses under a lens, and
- viewing distance.

Indeed, these factors are not accordable without compromises. A particular pixel will only be perceived within the width of one lens and has thus direct influence on the richness of detail of the whole lenticular image. However, with rising lens density decreases the printable area per lens. Hence, either the number of „subimages“ has to be reduced – which is followed by the occurrence of leaps between adjacent „sub-images“ – or the width of the discrete „sub-image“ strip has to be reduced which causes very high requirements concerning print resolution and registering accuracy. The maximum number of subimages depends directly on the quality of the lenticular foil. Lens defects provoke that the incoming rays cannot focus in the focal plane.

Often the thickness of the lenticular foils is specified. Thickness, radius and refractive index of a lens are highly correlated, because – as already mentioned – focal and image plane must be identical in order to produce high-quality lenticular images. A changing of the radius results in a shift of the focal

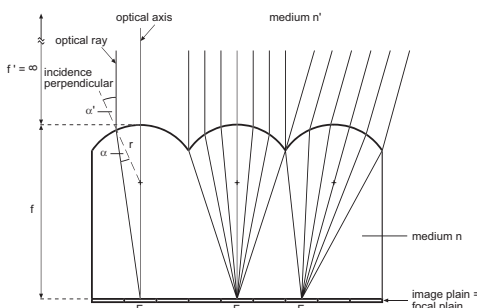


Fig. 3: Optical paths in the lenses.

plane. Consequentially, thicker lenticular foils have as bigger lens radii and a smaller viewing angle. They are best for lenticular images with 3D-effects.

The aperture angle of a lens is defined by the projection plain of all „subimages“ in the space above the lens. This angle can be subdivided into discrete so-called viewing zones corresponding to the „subimages“. Outside the aperture angle a repetition of the depicted objects occurs. The aperture angle is determined by the radius of the half-cylindrical lenses and the refraction characteristics of the material.

All the above parameters have to be chosen in a way that the foil is optimal for the intended purpose. In order to reach a good 3D impression a small aperture angle is advantageous, normally approx. 30 degrees. This value also follows from the intention to create small viewing zones for the discrete „subimages“ based on a small aperture angle. This, again, reduces the risk of the synchronous viewing of the same „subimage“ with both eyes. Thus, a 3D impression is already reached at a viewing distance of only 15 cm and will remain at significantly longer distances.

A large horizontal parallax causes disturbing side-effects when changing the viewing angle, i.e. the „leaping“ of the 3D scene. This effect is due to the finite number of subimages. It is possible to minimize it through an increased number of „subimages“, i.e. through the shortening of the horizontal parallaxes and, hence, the reduction of the depth impression.

Besides the 3D visualization lenticular foils are also useful for other purposes. When using horizontal lenses both eyes get the same image information. This is useful for the perception of animations (changes, morphings) or of different images (flips) through the tilting of the lenticular image. To a limited degree these effects are also realizable by vertical runs of the lenses, so that combinations of 3D-images with different contents are possible (cf. title page of this issue).

A more comprehensive presentation of all the above aspects is given in a monograph

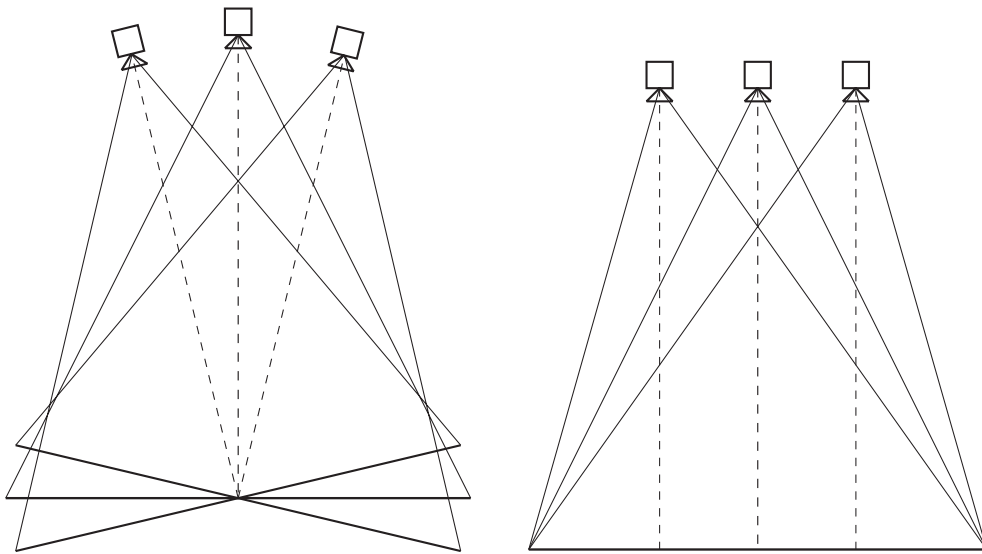


Fig. 4: Convergent and parallel camera positioning.

by TH. GRUENDEMANN (GRUENDEMANN 2004).

2.3 Preparation of Lenticular Images

The data sets used for the described product were delivered in digital form, and this determined the subsequent production process. The software package used for the calculation of the „subimages“, of the stereomates, has to provide capabilities for the processing of DTMs and large image data sets. Additionally, it must be possible to define the parameters of inner and outer orientation of a virtual camera.

Once the 3D model itself is well-defined in all respects, there exist two basic ways to position the camera in a sequence of viewpoints (Fig. 4):

- convergent camera (convergent disposition) or
- parallel camera (parallel disposition).

When using the method of the convergent camera, all camera axes intersect in one point, resulting in a symmetric viewing pyramid for all stereomates. A disadvantage of this method represent the vertical parallaxes close to the image edges: the

objects will be depicted with heavy distortions.

The typical characteristics of the other method are parallel camera axes. Here, the viewpoints will be moved along a straight path. For the coverage of the same model subset the use of asymmetric viewing pyramids is recommendable (cf. Fig. 4, right). They avoid a subsequent peripheral cutting of the stereo-mates.

3 Data Sources and Objectives

The production of a first prototype of a true-3D map based on lenticular foil technology was one activity within the Mars Express (MEX) Mission by ESA/DLR running since December 2003. The High Resolution Stereo Camera (HRSC) onboard the Mars Express spaceprobe developed by the Institute of Planetary Research of the German Aerospace Centre (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, DLR) is a multi-line scanner with several scan angles and wavelengths. The data processing delivers synchronously ortho-image data sets in blue, green, red, and near infrared as well as a DTM (HAUBER et al. 2000). The applicability of the HRSC data for these tests is based

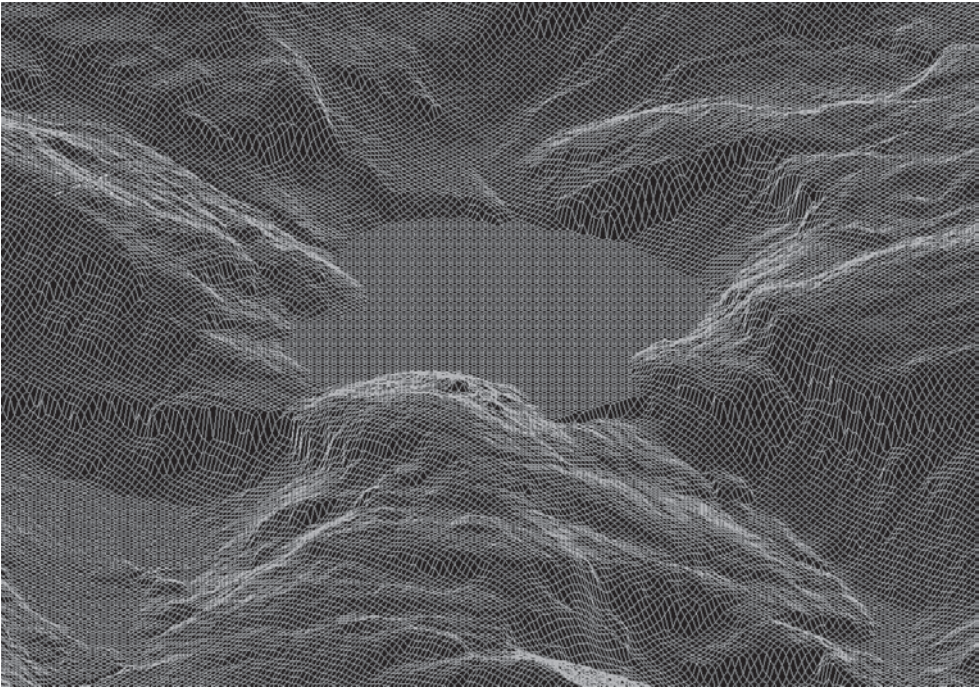


Fig. 5: Grid DTM, view of Weisssee from north-east. For visualization purposes grid-width decreased to 10 m.

on the good fitting between image data and DTM inherent to the system.

In preparation of MEX some airborne missions with the HRSC took place. Objects of early tests were the volcanic island of Stromboli, and the area around the internationally well-known „Alpin-Zentrum Rudolfshuette“ in the Eastern Alps (HAUBER et al. 2000). On September 14, 1999 an area of approx. 90 km² (7.7 km W-E and 11.5 km N-S) was covered by 21 flight strips taken by a one-to-one-model of the Mars camera.

The original data, received with a ground resolution in the decimeter range, were re-sampled to a resolution of 1 m. For the described data take the near-infrared band was not processed. The derived DTM has a horizontal resolution of 1 m, the vertical resolution being 0.1 m.

For the insertion of map information the 1:25 000 Alpine Club Map „Granatspitzgruppe“ (Alpenverein 2002) was utilized. Trails, water bodies, boundaries, letterings

and spot heights were digitized and stored in a well-structured way. In a second step it was necessary to drape the image data accurately. In contrast to the available DTM, the registration of the spot heights serves the linkup of the extrema of the initially unlabelled relief with the lettering.

The decision to register the map data to the image data, was made after terrain inspection by BERNHARD ZAGEL, University of Salzburg, with a hand-held GPS receiver. Subsequently, a significant better fitting of the image data to the digital terrain in comparison to the initial (locally slightly distorted) map (ZAGEL 2003) could be reached. This procedure seemed to be most appropriate and effective.

The processing of the 3D model with the software package 3D Studio MAX requires the conversion of the raster DTM into a grid model. For this purpose an interface was created which delivers polygon meshes in the DXF format.

Due to the fact that the mountain region around the Alpin-Zentrum Rudolfshuette is an internationally renowned skiing, hiking, rock- and ice-climbing area, the described map should cope with the tourism requirements. A true-colour image map in true-3D could doubtlessly perform this task best. As already mentioned, the usage of lenticular foils avoids the use of eye-aids such as polarization glasses or the like.

True-3D displays in digital and analogue form require interfaces to operational modeling software and output devices. For high-quality hardcopies algorithms and methods have to be developed and tested which allow the operational production of high-resolution true-3D displays based on lenticular foil technology.

Due to the fact that excellent image data were available, the decision for the production of a combined image-line (CIL) map was made very early. Such a map combines the advantages of a foto-realistic display with the communication properties of abstracted, symbolized cartographic information (BUCHROITHNER & KOSTKA 1997).

4 Treatment of Image and Map Information

One indisputable requirement for the production of a homogenous high-quality image map is the brightening of the shadow areas. Since during the mosaicing process at DLR almost all pixels got synthetically calculated grey values assigned, the calculation of a shadow mask based on the reconstruction of the illumination conditions during the 3-hour datatake was hardly possible. Instead, a classification of the shadow

areas was made. Based on this mask the respective areas were then brightened. Consequently, the features in the shadow areas became better visible, the remaining shadows act as a kind of analytical hill-shading.

Although the generated image map is a product which allows spontaneous relief recognition, the insertion of absolute altitude values was desirable. This also allows the map user to estimate the slope gradients, also in the case of exaggeration factors unequal 1. After tests with contour intervals of 100, 200, 500 and 1000 m the 200 m interval was found to be a good compromise between a too high density of elevation contours and a too low coverage of the image data by these vectors. The contour lines were reinterpolated from the DTM, followed by a smoothing step. Furthermore, peak and saddle elevations were indicated by spot heights. The elevation counts were positioned manually.

Relief and vector data were inserted into the 3D-model in different steps. This separation was not determined by the contents but rather by the attempt to prevent unwanted artefacts like the contour vectors undercutting the relief, when it has a convex form between two vertices. This would consequently result in a spot where the contour line is invisible.

The minimum size of the lettering is determined by the lenticular foil used. In the present case it was 12 point. So it was necessary to integrate only a selection of geographic names and unnamed spot heights. Hence, the lenticular map does not represent the whole content of the Alpine Club Map. A summary of all the described aspects is given in the following table:

Tab. 1: Inserting vector information into the 3D model.

	„Map base“	Vector information		
Map elements	Image data	Elevation contours, boundaries, road network, water bodies	Signatures, elevation figures	Geographic names, lettering in general
Placement with respect to relief	Identical with relief	Identical with relief – merged with image data	Nearly identical with the relief – manual placement	Significantly hovering above the relief

One big advantage of a true-3D map based on lenticular foil technology is the possibility to layout the whole vector information, primarily the symbols and the lettering, in a way that they do not hide the surface, i.e. in this case the relief and image information. These map elements can be placed in a way that they seem to be hovering above the terrain. This effect also allows the correct representation of the cables of cable cars at their actual three-dimensional position.

In contrast to conventional parallax stereoscopy, for a high-quality true-3D representation there are significantly more than two stereo-mates necessary. In a kind of synthetic west-east overfly 20 parallel perspective views were generated with a „virtual“ camera. This delivers a smooth transition when changing the viewing angle along the x-parallax (cf. above).

The calculation of the discrete 3D views has been carried out by the software packages SCOP++ and SCOP classic (Vienna

University of Technology) and for the vector data and the lettering with 3D Studio MAX. The interlacing of the stereo-mates was a task for the commercial software MAGIC INTERLACER Pro 100, a plug-in to Adobe Photoshop. For the cartographic works the DTP package MACROMEDIA Freehand was used.

5 Map Layout

In an effort to obtain an optimal tuning between the presented area, the spatial resolution of the image data and the parameters of the lenticular foil in connection with a „round“ scale, the map area resulted in a format of 42 cm (West-East) and 54 cm (North-South) at a scale of 1 : 17 500.

Out of three possible layouts – one portrait and two landscape formats – the choice was a landscape format with the map area on the left side, covering slightly more than half the print format of 60 cm * 80 cm, and

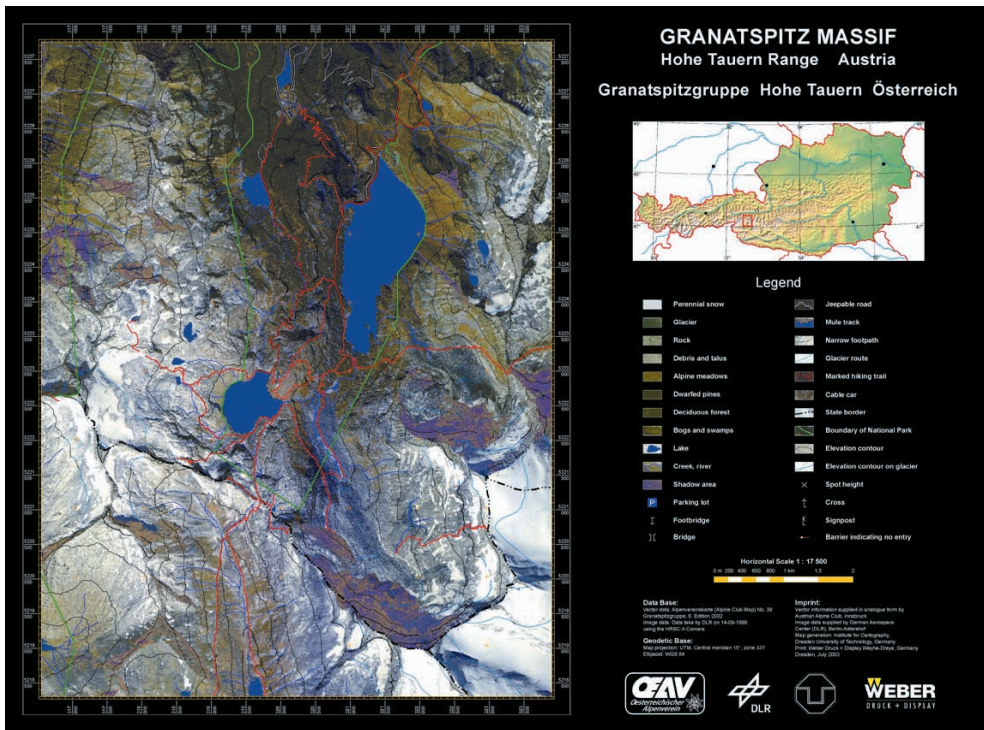


Fig. 6: Layout of the lenticular map.

titel, index map, legend, scale, geodetical basics and imprint at the right side above each other.

The final layout of the map with a bilingual title in English and German „GRANATSPITZ MASSIF, Hohe Tauern Range, Austria/Granatspitzgruppe Hohe Tauern, Österreich“ is given in Fig. 6 (cf. BUCHROITHNER et al. 2003).

Map elements which are not represented in true-3D, i.e. outside of the map field, are also printed on the lenticular foil. Hence, it was here, too, necessary to use minimal letter sizes of 12 point.

6 Evaluation

At the Institute for Cartography of the Dresden University of Technology the first high-mountain map world-wide which is auto-stereoscopically viewable with unaided eyes was produced. In comparison to other true-3D visualisation techniques for digital displays the big advantages of this hardcopy are easy transportability and multi-user capability. This allows taking the map into the terrain, both as a whole or in parts, mounted on a flexible tissue. The biggest advantage, however, is that neither a special illumination, like for a hologramme, nor glasses are necessary. The combination of a hill-shading – synthetic or natural – and partly hovering topographic line information represents an optimised information transfer for the map user. In summary, it has to be stated that this innovation in cartographic visualisation to present the third dimension yields enormous benefits for all individuals who have difficulties to spontaneously extract relief information from conventional maps. This offers a high potential for future applications in both topographic and thematic cartography.

Presently, photogrammetric data processing and cartographic work is mostly carried out digitally. Yet, for lenticular maps this view is rather optimistic. For the production of high-quality graphics in the form of high-resolution 3D hardcopies still many visual checks are necessary. In any case, the operational visualisation of digital 3D mo-

dels in the form of user-friendly true-3D maps will be possible in the medium future.

7 Acknowledgements

Much of the basic research for the use of the lenticular foil technology for true-3D visualisation has been triggered by Prof. GERHARD NEUKUM, Free University of Berlin, Principal Investigator of the HRSC Experiment on the ESA Mars Express Mission. The funding of the R & D activities carried out within the scope of this project came from the German Ministry for Education and Research via the German Aerospace Center (DLR). Printing of the described map has, in the usual, experienced and excellent way, been carried out by Weber Druck + Display, Weyhe-Dreye near Bremen. Thanks go to all these individuals and institutions.

References and Background Reading

- ALBERTZ, J. (1997): Die dritte Dimension – Elemente der räumlichen Wahrnehmung. – In: ALBERTZ, J. (ed.): Wahrnehmung und Wirklichkeit – Wie wir unsere Umwelt erkennen und gestalten. – Schriftenreihe der Freien Akademie Berlin, Vol 17, Berlin.
- BAHR, A. (1991): Stereoskopie – Räume – Bilder – Bildräume. – Thales Themenheft Nr. 49, 47 p., Thales Verlag, Essen.
- BUCHROITHNER, M.F. (2000): Erste Holographische Hochgebirgskarte. – Salzburger Geograph. Arbeiten **36**: 39–47.
- BUCHROITHNER, M.F. & KOSTKA, R. (1997): Conceptual Consideration on High-Mountain Cartography and Spaceborne Remote Sensing. – In: Proc. 18th ICA/ACI International Cartographic Conference, Stockholm, Vol. **4**: 2056–2059.
- BUCHROITHNER, M.F. & SCHENKEL, R. (1999): 3D Mapping with Holography. – GIM International **13** (8): 32–35.
- BUCHROITHNER, M.F., WÄLDER, O., HABERMANN, K. & KÖNIG, B. (2003): Generating a True-3D Image Map of High Relief Terrain Using Lenticular Foil. – Proc. 21st Internat. Cartographic Conf., Durban, p. 1323–1328.
- GRÜNDEMANN, T. (2004): Grundlagenuntersuchungen zur kartographischen Echt-3D-Visualisierung mittels des 3D-Lentikularverfahrens. – 45 p., Studienarbeit, TU Dresden.

- HAUBER, E., JAUMANN, R., WEWEL, F., GWINNER, K., NEUKUM, G. & SLUPETZKY, H. (2000): The Airborne High Resolution Stereo Camera (HRSC-A) as a Tool for High Mountain Cartography. – Kartographische Bausteine **18**: 29–38, TU Dresden.
- KIRSCHENBAUER, S. & BUCHROITHNER, M.F. (1999): „Real“ 3D Technologies for Relief Depiction. – Proc. 19th ICA Intern. Cartogr. Congress, Ottawa/Canada, August 14–21, p. 1–7.
- KRAUS, K. (1997): Photogrammetrie, Band 1 – Grundlagen und Standardverfahren. – 394 p., Ferd. Dümmler Verlag, Bonn.
- Österreichischer Alpenverein (2002): Alpenvereinskarte Granatspitzgruppe 1 : 25000. – Innsbruck.
- OKOSHI, TAKANORI (1976): Three-Dimensional Imaging Techniques. – 403 p., New York Academic Press.
- ZAGEL, B. (2003): E-mail correspondence with Klaus Habermann.
- Addresses of the Authors:
- Prof. Dr. MANFRED F. BUCHROITHNER:
Manfred.Buchroithner@mailbox.tu-dresden
- Dipl.-Ing. THOMAS GRÜNDEMANN:
Thomas.Gruendemann@mailbox.tu-dresden.de
- Dipl.-Ing. KLAUS HABERMANN:
Klaus.Habermann@mailbox.tu-dresden.de
- Technische Universität Dresden (TUD)
Institut für Kartographie
Helmholtzstr. 10 D-01069 Dresden
- Manuskript eingereicht: November 2004
Angenommen: November 2004

Die Rückkehr der Buddhas – Photogrammetrie und kulturelles Erbe in Bamiyan, Afghanistan

ARMIN GRÜN & FABIO REMONDINO, Zürich

Keywords: photogrammetry, cultural heritage, 3D reconstruction, surface modeling, visualization, Bamiyan Buddhas, satellite images, Spatial Information Systems

“If the culture of a nation dies, its soul dies with it. It’s not just enough to eat and clothe yourself. You have to have some sense of identity.” NANCY H. DUPREE

Zusammenfassung: Die Photogrammetrie wird gelegentlich als Methode zur „3D Digitalisierung“ definiert. Obwohl sie diese Eigenschaft zweifelsohne aufweist, wäre dies doch eine sehr verkürzende Interpretation. Moderne Photogrammetrie, mit ihren Schnittstellen zur Bildanalyse, 3D Modellierung, Visualisierung, Animation, Virtuellen Realität, Räumlichen Informationssystemen, usw. greift wesentlich weiter. Anhand des vorliegenden Projektes zur 3D Rekonstruktion der stehenden Buddhas von Bamiyan, Afghanistan, wollen wir nicht nur die Leistungsfähigkeit der modernen Photogrammetrie zur Modellierung komplexer Objekte und Prozesse erläutern, sondern darüber hinaus auch aufzeigen, wie sich daraus soziale, kulturelle und auch wirtschaftliche Implikationen ergeben können. Photogrammetrie also nicht allein als Ergebnis dieser Prozesse und damit verbundener Entscheidungen, sondern als Auslöser.

Die Methode der Photogrammetrie, ursprünglich und im 19. Jahrhundert zunächst vorwiegend als „Architekturphotogrammetrie“ praktiziert, findet heute in einer ganz neuen Form zu ihren Wurzeln zurück. Zusammen mit den vorher erwähnten Technologien trägt sie entscheidend bei zur Aufzeichnung, Dokumentation, Analyse, Rekonstruktion, Repräsentation, Publikation, Erhaltung und Pflege von kulturellem Erbe im weitesten Sinne. Zusammen mit der Satelliten-Fernerkundung wird sie immer mehr zu einem unverzichtbaren Instrument für die Landschafts- und Kulturgütermodellierung und -pflege. Unser Bamiyan-Projekt ist ein vorzügliches Beispiel für diese Zusammenhänge.

Wir zeigen in diesem Beitrag, ausgehend von einer kurzen Beschreibung der historischen Hin-

Summary: *The return of the Buddhas – photogrammetry and the cultural heritage in Bamiyan, Afghanistan.* Photogrammetry is defined occasionally as „3D Digitizer“. Although this is definitely an inherent functionality of photogrammetry, such definition does not do justice to this technique. Modern photogrammetry, with its close relations to image analysis, 3D modeling, visualization, animation, Virtual Reality, Spatial Information Systems, etc. has a much broader scope. With this project of the 3D reconstruction of the standing Buddhas of Bamiyan, Afghanistan, we wish to demonstrate the efficiency of modern photogrammetry for the modeling of complex objects and processes. But we also would like to show how social, cultural and economic implications may emerge as a result of photogrammetric activities.

Here we see photogrammetry not just as a result of such decisions, but in a role as triggering function.

Early photogrammetry was mainly practiced as „architectural photogrammetry“, and today it finds its way back to its roots, but in a very different form. Nowadays photogrammetry, together with its neighbouring disciplines, is indispensable for the recording, documentation, analysis, reconstruction, representation, publication, preservation and maintenance of cultural heritage. For this our Bamiyan project constitutes a very good example.

We will show in this contribution, starting from a brief description of the historical facts, the latest status of our works, which begun far beyond the 3D reconstruction of the Great Buddha. In the meantime we have derived a large area DTM from satellite images, we have modeled the rock facade containing the many caves in its full extension,

tergründe, den letzten Stand unserer Arbeiten, die sich weit über die ursprünglichen Zielvorstellungen zur 3D Rekonstruktion des Großen Buddhas hinaus entwickelt haben.

Inzwischen haben wir ein großräumiges Geländemodell aus Satellitenbildern generiert, wir haben die Felswand der Buddhahöhlen in ihrer gesamten Länge modelliert, die heute leeren Buddha-Nischen photogrammetrisch vermessen und einen Teil der zerstörten Fresken in das Computermodell zurückgebracht. Schließlich sind wir dabei, ein Räumliches Informationssystem aufzubauen, welches als Grundlage für ein späteres Touristen-Informationssystem dienen kann. Daneben unterstützen wir mit unseren Daten und Erfahrungen den Bau eines Hauses der Begegnung in Bamiyan durch die ETH Zürich.

Das Interesse einer breiten Öffentlichkeit an diesen Arbeiten wird dadurch dokumentiert, dass unser Projekt in den Schweizerischen Pavillon bei der kommenden Weltausstellung 2005 in Aichi, Japan, integriert wird.

we have measured photogrammetrically the empty Buddha niches and we have brought back parts of the destroyed frescos. Finally we are in the process of building up a spatial information system for the area, which may serve as the basis for a future tourist information system. In addition we support with our data and experiences the construction of a new building by ETH Zurich, which is meant as a house for meetings between Afghan and foreign lecturers, experts and students.

The interest of a very broad public in our work is best documented by the fact that our project will receive a prominent place in the Swiss Pavilion at the World Exhibition 2005 in Aichi, Japan.

1 Einleitung

Das Projekt der photogrammetrischen Rekonstruktion des Großen Buddha von Bamiyan, Afghanistan wurde ursprünglich als rein wissenschaftlicher Ansatz zur Weiterentwicklung automatischer Objektrekonstruktionsverfahren aus nichtmetrischen Bildern initiiert. Durch das große Interesse von Fachleuten und einer breiten Öffentlichkeit an Ergebnissen, die tatsächlich für einen physischen Wiederaufbau vor Ort eingesetzt werden können, wurde ein zusätzliches Projektziel formuliert: Die möglichst genaue und vollständige 3D Modellierung als Grundlage einer eventuellen physischen Rekonstruktion. Die Arbeiten zur automatischen Bildanalyse, aber auch die manuelle Auswertung und deren Ergebnisse sind in mehreren Publikationen dokumentiert worden (siehe zum Beispiel GRUEN et al. 2004b). In diesem Beitrag beschreiben wir die Ergebnisse unserer neueren Arbeiten, die weit über die 3D Modellierung der Statue des Großen Buddha hinausgehen. Dazu zählt die Modellierung der gesamten Felswand, aus der beide Buddhas herausgearbeitet

wurden, die Modellierung der jetzt leeren Felsnischen, die Integration von Fresken in Superauflösung und die Terrainmodellierung einer größeren Umgebung. Den unterschiedlichen Auflösungsbedingungen entsprechend wird verschiedenes Bildmaterial eingesetzt: Satellitenbilder von SPOT 5 und IKONOS, analoge Messbilder und Halbmessbilder, gescannte Kleinbildformate und Bilder aus digitalen Stillvideokameras. Die eingesetzten Verfahren der analytischen und digitalen Photogrammetrie zeigen, dass eine einheitliche Auswertemethodik auch bei sehr unterschiedlichem Ausgangsbildmaterial eingesetzt werden kann. Das Projekt weist gleichzeitig beispielgebend die Eignung der Photogrammetrie zur 3D Modellierung von „Large Cultural Heritage Sites“ nach. Moderne Visualisierungs- und Animationsprodukte erlauben eine attraktive Präsentation der Ergebnisse.

Der Aufbau eines räumlichen Informationssystems für touristische Zwecke ist in Vorbereitung.

Wegen des großen öffentlichen Interesses an diesem Projekt wird neben den photo-



Abb. 1: Der Große Buddha von Bamiyan – von der Zerstörung zur Wiedergeburt am Computer.

grammetrischen Arbeiten und Ergebnissen auch ein kurzer historischer Abriss der Buddhas von Bamiyan gegeben und die Frage des Wiederaufbaus vor Ort thematisiert.

2 Die Zerstörung der Statuen

Als am 8. März 2001 die beiden großen stehenden Buddhas von Bamiyan, Afghanistan, nach mehreren Tagen erfolglosen Panzer- und Flakfeuers schlussendlich per Dynamit gesprengt wurden, ging ein Aufschrei der Empörung durch die internationale Medienlandschaft. Es war dies auch eine Reaktion der Ohnmacht gegenüber den lange vorher verkündeten Plänen der Talibanführung, den „Reliquien der Ungläubigen“ den Garaus zu machen. Wie sich Talibanführer Mullah Muhammed Omar ausdrückte, „verdient nur Allah, der Allmächtige es, angebetet zu werden“. Dabei half es auch nichts, dass breite Teile der Bevölkerung gegen diesen Akt des Vandalismus waren und selbst regionale Talibanführer die Zerstörung dieses fast zweitausendjährigen Kulturerbes missbilligten. Die vermeintliche Symbolik dieser Aktion wurde noch dadurch unterstrichen, dass Einwohner Bamiyans, Mitglieder des Stamms der Hazara, gegen Androhung von Gewalt gezwungen wurden, beim Bohren der Dynamitlöcher mitzuhelfen. Es wird berichtet, dass nicht nur die Al-Quaida die treibende Kraft hinter der Aktion war, sondern vor allem deren erfahrene ausländische Kämpfer aus arabischen Staaten, Bangladesch, Sudan und Tschetschenien letztlich die praktische Zerstörungsarbeit leisteten. Die Buddhastatuen

wurden im wahrsten Sinne des Wortes pulverisiert, und es wird berichtet, dass ein Teil der wenigen übriggebliebenen Trümmer über Pakistan ausser Landes gebracht und am internationalen Kunstmarkt abgesetzt wurde.

In der Folge wurde zwar das Ereignis reichlich beklagt (KOICHIRO MATSUURA, Generaldirektor UNESCO: „A crime against humanity itself“), aber bis heute recht wenig getan, um bei dem von den Einheimischen dringend gewünschten Wiederaufbau der weltbekannten Statuen konkret behilflich zu sein. Interessant ist hier auch, dass bis zum Juni 2003 die Buddhas nicht in der *UNESCO World Heritage List* geführt wurden. Diese Ehre und der damit verbundene Schutz kam ihnen sozusagen erst posthum zugute.

Diverse, meist unausgereifte Ideen zum Wiederaufbau liegen vor. Das Spektrum der Vorstellungen ist weitgespannt:

- Einrichtung einer Lasershow;
- Komplette Rekonstruktion in der ursprünglichen (allerdings unbekannt) Form;
- Rekonstruktion in der neuzeitlich bekannten, also bereits teilbeschädigten Form;
- Rekonstruktion nur des Großen Buddha, mit der Vorstellung, die leere Nische des Kleinen Buddha als Mahnmal der Zerstörung zu belassen;
- Kein Wiederaufbau.

Die Stimmen der internationalen Experten sind in diesen Fragen gespalten. Bereits in

der Bewertung der Qualität der Statuen gibt es signifikante Differenzen.

Der englische Reiseschriftsteller ROBERT BYRON, der Bamiyan im Jahre 1933/34 besuchte, äußerte sich folgendermaßen: „*I should not stay long at Bamian. Its art is un-fresh ... That (larger) Buddha is 174 feet high, and the smaller 115; they stand a quarter of a mile apart ... Neither has any artistic value. But one could bear that; it is their negation of sense, the lack of any pride in their monstrous flaccid bulk, that sickens. Even their material is unbeautiful, for the cliff is made, not of stone, but of compressed grave. A lot of monastic navvies were given picks and told to copy some frightful semi-Hellenistic image from India or China. The result has not even the dignity of labour*“ (BYRON 1937).

Davon abgesehen, dass die konkreten Maßangaben zum Teil stark fehlerhaft sind, lässt sich die künstlerische Bewertung mit einer Bemerkung BRUCE CHATWINS zu BYRONS persönlichen Abneigungen erklären: „*Among the targets of his abuse were the Catholic Church; the art of Classical Greece; the paintings of Rembrandt; Shakespeare ...*“ (CHATWIN 1980).

ICOMOS dagegen formuliert in seiner Empfehlung zur Aufnahme von Bamiyan in die UNESCO World Heritage List unter anderem: *‘The Buddha statues and the cave art in Bamiyan Valley are an outstanding representation of the Gandharan school in Buddhist art in the Central Asian Region’* (<http://whc.unesco.org>).

Der Wunsch nach Rekonstruktion der Kulturgüter ist in jedem Fall in der afghanischen Bevölkerung weit verbreitet:

- KHARIM KHALILI, Vizepräsident Afghanistans, Vertreter des Stamms der Hazara in der provisorischen Zentralregierung: „*Die Buddhas vom Bamiyantal wurden ganz klar und eindeutig von Terroristen zerstört. Mit dem Aufbau der Statuen und mit der Hilfe des Auslands können wir für die Leute in Afghanistan und für die ganze Welt ein Zeichen setzen. Denn wenn es die Welt ernst meint im Krieg gegen den Terrorismus, so muss sie es auch ernst meinen im*

Wiederaufbau von jenen Sachen, die der Terrorismus zerstörte.“

- HUSSEIN, Bauer und Höhlenbewohner in Bamiyan: „*Ich werde tanzen, wenn die Buddhas wieder zurückkehren.*“
- SADEQ, Händler in Bamiyan: „*Mit der Zerstörung der Buddhas haben die Taliban ein böses Werk vollendet. Sie dachten, die Leute würden die Buddhas anbeten. Aber es war kein heiliger Platz, es war ein geschichtlicher Platz.*“

Somit sind die Hauptargumente, die für einen Wiederaufbau sprechen, formuliert:

1. Man sollte dem Willen von kultur- und menschenverachtenden Gewalttätern nicht nachgeben und durch den Wiederaufbau die Solidarität der Gegenkräfte unter Beweis stellen.
2. Den Menschen im Bamiyantal und darüber hinaus wurde ein Teil ihrer historischen und kulturellen Identität genom-



Abb. 2: Der Große Buddha als Objekt kultureller Identifikation und als Ort sozialer und sportlicher Aktivitäten (SVEN CONRAD).

men. Kulturelles Selbstwertgefühl und der Stolz auf kulturelles Erbe sind insbesondere für einen zukünftigen friedlichen und halbwegs demokratischen Staat Afghanistan von großer Bedeutung.

- Schlussendlich sind die Buddhas von Bamiyan ein erheblicher wirtschaftlicher Faktor für ganz Afghanistan. Sie stellen ein zentrales touristisches Element des Landes dar. Außer einigen wenigen Experten wird aber niemand die beschwerliche Reise nach Bamiyan auf sich nehmen, nur um einige leere Höhlen zu betrachten.

Es wäre wünschenswert, wenn aus dem Spektrum sehr unterschiedlicher Meinungen internationaler Experten eine konsistente Doktrin zum Wiederaufbau hervorginge.

Am Institut für Geodäsie und Photogrammetrie der ETH Zürich jedenfalls haben die photogrammetrischen Rekonstruktionsarbeiten zur 3D Modellierung des Großen Buddha und der weiteren Umgebung die technischen Voraussetzungen geschaffen, damit ein Wiederaufbau kompetent vollzogen werden kann.

3 Das wechselhafte Leben der Buddhas

Die Region von Bamiyan, ca. 200 km nordwestlich von Kabul auf 2.500 Metern Meereshöhe gelegen, war vom 2. Jahrhundert n. Chr. ab eines der wichtigsten buddhistischen Zentren weltweit bis zur Ankunft des Islam im 8. Jahrhundert. Jahrhunderte lang lag Bamiyan an strategisch wichtiger Stelle im Herzen der Seidenstraße. Reisende in ost-westlichen und nord-südlichen Richtungen nutzten die Ortschaft Bamiyan als Rastplatz. Dadurch entwickelte sich schon frühzeitig ein internationaler Treffpunkt alter Kulturen. Eine faszinierende Landschaft, geprägt durch die umgebenden ariden Gebirgslandschaften der Ausläufer des Hindu-kusch und farbige, fruchtbare Flusstäler, musste den frühen Siedlern geradezu als perfekt geeigneter Platz für wirtschaftlich gesicherte Niederlassungen und den buddhistischen Mönchen als inspirative Umgebung zur Ausübung ihrer religiösen Riten erschienen sein.

Wir kennen im Übrigen weitere, ähnlich gestaltete „buddhistische Landschaften“ entlang der Seidenstraße im westlichen China. ROBERT BYRON äußerte sich begeistert über die Umgebung: „*The colors of this extraordinary valley with its cliff of rhubarb red,*



Abb. 3: Die Felswand des Bamiyantaales mit den drei Buddha-Statuen und den Mönchshöhlen (Aufnahme August 2003).

its indigo peaks roofed in glittering snow and its new-sprung corn of harsh electric green, shone doubly brilliant in the clear mountain air ... And there suddenly, like an enormous wasps' nest, hung the myriad caves of the Buddhist monks, clustered about the two giant Buddhas“ (BYRON 1937).

Einzelheiten zum Bau der Buddhas sind nicht überliefert. Wir müssen uns hier auf die Berichte früher Reisender und vergleichende Stilstudien verlassen. Die stehenden Buddhas wurden demnach während der Kushan Dynastie errichtet, die vom späten 1. bis zum frühen 3. Jahrhundert n. Chr. über ein Königreich gebot, das sich von Nordindien über Gebiete des heutigen Afghanistan und Pakistan bis nach Zentralasien hinein erstreckte. Der Herrscher Kanishka veranlasste den Bau der Statuen und Nachfahren von griechischen Künstlern, die bereits mit Alexander dem Großen ins Land gekommen waren, führten die Arbeiten aus, die wahrscheinlich bis in das 4. Jahrhundert andauerten. Die Bamiyan Buddhas repräsentieren den Gandhara Stil, eine Mischung griechisch-römischer mit indisch-buddhistischen Elementen.

Die beiden großen Buddhas gelten als eine der ersten menschlich-bildlichen Darstellungen Buddhas überhaupt ausserhalb Indiens. Der französische Archäologe J. HACKIN sieht die Bamiyan-Buddhas gar als Wurzel der Inspiration für die Künstler der indischen Mathura-Bildhauerschule: *“Nothing could be more natural than that the artists of Mathura were inspired by the statues at Bamiyan justly famous at that time throughout the Buddhist world”* (HACKIN 1928).

Der Große Buddha repräsentiert Vaicorana („Licht, das durch das Universum scheint“), während der Kleine Buddha Shakyamuni darstellt (<http://www.arteorientale.com>, <http://dsal.uchicago.edu/>). Beide wurden in Grobform aus der anstehenden, teilweise über 100 m hohen Wand aus Sedimentgestein herausgearbeitet. Die feinen Details an Kopf, Armen, Beinen und insbesondere der Faltenwurf des Gewandes wurden mit einer Auflageschicht, bestehend aus einem Gemenge aus Lehm und Stroh modelliert. Eine Beschreibung der Bauweise

wird in KNOBLOCH 2002 gegeben: *„The Bamiyan Buddha was created by cutting a high-relief figure into the face of the soft conglomerate cliff. It is possible that the niche was carved out first, using scaffolding slotted into holes cut into the cliff, before the ambulatory galleries were carved; the scaffolding later being replaced by a series of permanent wooden ladders, landings and facades. The torso was roughly shaped and detailing of the folds of the gown was built out by cutting lines of shallow holes for wooden pegs on which were hung ropes coated with thick stucco“*. Die herausragenden Teile der Arme wurden durch eingelassene Holzbalken abgestützt, und es wird angenommen, dass die Gesichter ursprünglich mit einer farbig bemalten hölzernen Maske bedeckt waren. Einige Autoren vertreten gar die Meinung, dass die buddhistischen Mönche, hinter der Maske stehend, dem Volke gepredigt hätten. Aber für beide Tatbestände gibt es keinerlei konkrete Belege.

Der chinesische Reisende HSÜAN-TSANG, der 632 n. Chr. in Bamiyan vorbeikam, berichtet in überschwenglichen Worten von dem dort Gesehenen (HACKIN & HACKIN 1939): *„An Reinheit des Glaubens überragen die Bewohner des Landes vielfach diejenigen benachbarter Königreiche ... Wenn die Kaufleute kommen und gehen, offenbaren ihnen die himmlischen Götter dort glückliche Omina. Treten Unglücksfälle durch Dämonen auf, erbitten die Kaufleute dort glückliche Verdienste.*

Die Klöster sind mehrere Dutzend an der Zahl und die Mönche mehrere Tausend ... Im Nordosten der Königstadt befindet sich am Bergabhang das steinerne Bildnis eines stehenden Buddha. Es ist 140 bis 150 Fuß hoch, die Hautfarbe ist glänzendes Gold, und kostbare Schmuckstücke leuchten daran. Östlich (von dem Standbild) liegt ein Kloster, gegründet von einem früheren König des Landes. Östlich des Klosters befindet sich ein Standbild des Buddha Sakyamuni aus Messing, mehr als 100 Fuß hoch. Der Körper ist in Stücken gegossen, die man, um (das Bildnis) zu vollenden und zu errichten, zusammengefügt hat. 2 bis 3 li östlich der Königstadt befindet sich in einem Kloster ein liegen-

des Buddhahildnis, seinen Eintritt ins Nirvana (darstellend), mehr als 1000 Fuß lang,“ HSÜAN-TSANG, SI-YU-DJI, Kap.1.

Wir können diesem kompakten Textabschnitt Folgendes entnehmen:

- Bamiyan mit seinen Klöstern, Mönchen und Buddhastatuen war ein religiöses Zentrum erster Güte, welches die Hoffnungen und Ängste der in endlosen Karawanen vorbeiziehenden Kaufleute durch bezahlte Orakelsprüche auch kommerziell zu nutzen wusste. Die Anzahl der Mönche wird in der deutschen Übersetzung des alten chinesischen Textes mit „Mehreren Tausend“ angegeben, während eine englische Übersetzung (BEAL 1906) von „about 1000 priests“ spricht.
- Die Klöster konnten größere Reichtümer ansammeln. Demgemäß war der Große Buddha äußerst reichhaltig ausgestattet gewesen (Bemalung in Goldfarbe, Behang mit Edelsteinen).
- Der Verbleib des Messingstandbildes des zweiten Buddha ist heute nicht bekannt. Es ist gut vorstellbar, dass ein mehr als 30 m hohes Messingobjekt das monetäre Interesse vieler Nachfahren gefunden hat.
- Der „Liegende Buddha“ (auch „Sleeping Buddha“) ist eine bekannte lokale Legende und beflügelt seit einigen Jahren wieder vermehrt die Fantasie einer interessierten Öffentlichkeit. Im Sommer 2003 begann Prof. Z. TARZI mit Ausgrabungen am Fuße der Felswand östlich des Kleinen Buddha. Bis heute konnte der angeblich 300 m große Liegende Buddha nicht gefunden werden.

Die ersten Zerstörungen an den Statuen gehen bereits auf das 8. Jahrhundert n. Chr. zurück, als der Islam in der Gegend Fuß fasste. Dschingis Khan zerstörte im Jahre 1221 die alte Stadt Bamiyan mit sprichwörtlich Mann und Maus, da einer seiner Enkel dort durch einen Pfeilschuss getötet wurde. Es heißt aber, er fügte weder den Mönchen in den Klöstern und Höhlen noch den Buddhastatuen ein Leid zu. In diesem Zusammenhang gibt es eine interessante Beziehung zu dem dort heute beheimateten Stamm der Hazara, die im Gegensatz zu allen anderen

afghanischen Stämmen ausgeprägt zentralasiatische Gesichtszüge tragen. „Hazara“ heißt auf Dari (Persisch) „Eintausend“. Dieser Begriff bezeichnete den Namen der westmongolischen Militäreinheit „Die Eintausend“, die zweitstärkste Gruppierung in der Armee Dschingis Khans. Zusätzlich hat man kürzlich erst herausgefunden, dass ein Drittel aller Männer der Hazara das Khan Chromosom tragen, welches in Nachbarstämmen völlig unbekannt ist. In dieser Interpretation wären die Hazara direkte Nachfolger von Mitgliedern der Mongolenarmee Dschingis Khans.

Wesentliche Beschädigungen wurden den Buddhas erst durch den Mogulkaiser Aurangzeb und Nadir Shah im 17. bzw. 18. Jahrh. durch Beschuss mit Kanonen zugefügt.

Bamiyan wurde in europäischen Schriften bereits im 18. Jahrhundert erwähnt. Das 19. Jahrhundert sah den Beginn der archäologischen Periode. Zunächst bestand diese aus einem Strom von Amateurarchäologen, deren Kompetenzen eher als Mediziner, Militärpersonal, Agenten, Schatzgräber und professionelle Reisende zu sehen sind. ALEXANDER BURNES, der Bamiyan 1832 besuchte, gilt als der „moderne Entdecker“ der Buddhas. Seine Lithographie der Buddhas entspricht allerdings mehr einer lebendigen Fantasie als der Realität (Abb. 4).

Im deutschsprachigen Raum galt damals der Geograph CARL RITTER als Pionier auf



Abb. 4: ALEXANDER BURNES' Lithographie der Buddhas von Bamiyan, 1832.

dem Gebiet der Asiatischen Archäologie. Er publizierte als erster eine Monographie über Bamiyan (RITTER 1838). Relevant zu diesem Thema ist auch der Beitrag MODE 1999 über CARL RITTER.

Die ersten professionellen Ausgrabungen und Untersuchungen datieren aus dem 19. Jahrhundert. Für die französische DAFA (Délégation Archéologique Française en Afghanistan) arbeiteten damals ab 1922 bekannte Fachleute wie A. GODARD, J. CARL und das Ehepaar HACKIN in Afghanistan. J. und R. HACKIN veröffentlichten auch 1934 den ersten Führer über Bamiyan (Deutsche Version siehe HACKIN & HACKIN 1939). Sie analysierten die Bauweise der Statuen und datierten den Großen Buddha aufgrund von Stilanalysen später als den Kleinen. Die damals angegebenen Höhenmaße der Buddhas (53 m bzw. 38 m) werden seitdem als Standardmaße ungeprüft weiterverwendet.

Der Archaeological Survey of India hat in den Jahren 1969–1977 intensive Restaurations- und Konservierungsarbeiten am Großen und Kleinen Buddha durchgeführt. Die Mittel dafür wurden damals direkt von INDIRA GANDHI zur Verfügung gestellt.

In den Jahren 1970–78 fanden Untersuchungen der Kyoto University Archaeological Mission to Afghanistan and Pakistan in Bamiyan statt. Das Ziel war, neben dem Studium der stehenden Buddhas vor allem den gesamten Komplex der Höhlen samt den verbliebenen Bestandteilen ihrer Fresken aufzunehmen. Weitere geplante Aktivitäten vor Ort wurden im Jahre 1979 durch

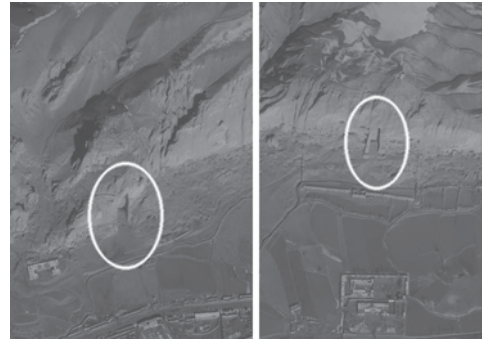


Abb. 6: Die leeren Buddha-Nischen sind selbst in einem hochauflösenden IKONOS-Satellitenbild sichtbar (Space Imaging).

den Einmarsch der Sowjets gestoppt. Heute liegt damit die bisher vollständigste Aufnahme und Analyse von 750 Höhlen vor (HIGUCHI 2001).

Mit dem Einmarsch der Sowjetarmee im Dezember 1979 begann in Afghanistan eine 23-jährige Periode kriegerischer Auseinandersetzungen. Diese langen Kämpfe haben ein schwerverletztes Land hinterlassen, dessen Aufbau heute nur sehr zögerlich voranschreitet. Die Zerstörung der Buddhas durch die Taliban ist nur ein einzelner Schadensfall, der vor den sonstigen grauenhaften landesweiten Beschädigungen fast verblasst. Mit ihrem hohen Symbolwert steht aber die Zerstörung der Buddhas stellvertretend für eine Unzahl unmenschlicher Handlungen, welche in den langen Jahren der Kampfhandlungen das Land überzogen haben.

Ein Vergleich der Bilder der Situation vor und nach der Zerstörung macht den Verlust



Abb. 5: Die Buddhas in ihren Nischen und die leeren Nischen nach der Zerstörung (links der Große Buddha, rechts der Kleine).

deutlich (Abb. 5). Selbst aus hoch auflösenden Satellitenbildern können wir heute die leeren Nischen von Bamiyan erkennen (Abb. 6).

4 Von der Rekonstruktion des Großen Buddha zur Generierung eines umfassenden Landschafts- und Kulturgütermodells

Unser Interesse an der Rekonstruktion der Buddhas von Bamiyan war zunächst rein wissenschaftlicher Natur. Wir wollten untersuchen, ob es möglich sei, beliebige fotografische Bilder eines Objekts vom Internet herunterzuladen und mit Hilfe dieser Bilder das Objekt möglichst vollständig und präzise dreidimensional und in allen verlangten Details zu rekonstruieren. Darüber hinaus wollten wir herausfinden, inwieweit die Verfahren dieser Rekonstruktion automatisiert werden können. Offensichtlich ist diese Aufgabenstellung relevant für eine Vielzahl von Objekten weltweit, die zerstört wurden und für deren Wiederaufbau keine ausreichenden Maßangaben und Pläne vorliegen. Die Aufgabenstellung an sich ist nicht neu, wurden und werden doch photogrammetrische Rekonstruktionen aus alten Bildern, insbesondere aus Amateuraufnahmen, immer wieder durchgeführt (GRUEN 1976, 1984).

Im Laufe unserer frühen Arbeiten konnten wir Kontakt zu Gruppen aufnehmen, die sich mit dem Problem des Wiederaufbaus der Buddhas beschäftigten. Hier ist insbesondere PAUL BUCHERER-DIETSCHI zu erwähnen, Leiter der Stiftung Bibliotheca Afghanistanica und des Afghanistan-Museums im Exil in Bubendorf, Schweiz. Durch diese Kontakte wurde unser Interesse auf die Notwendigkeiten für eine praxisreife, präzise und in allen Details möglichst vollständige Rekonstruktion gelenkt. Das heißt, unsere Arbeiten folgten und folgen immer noch zwei parallelen Zielvorstellungen: (a) die Methoden der automatischen Bildauswertung weiter zu verbessern und (b) ein Rekonstruktionsprodukt herzustellen, welches hohen praktischen Anforderungen genügt. Beide Zielvorstellungen lassen sich aller-

dings bei komplexen Objekten nicht gleichzeitig optimieren.

Nach erfolgreicher photogrammetrischer Rekonstruktion des Großen Buddha (siehe Kapitel 5) haben sich unsere Ziele ständig erweitert und umfassen heute folgende zusätzliche Aufgaben:

- (a) Modellierung eines umfangreichen Gebiets der großartigen Landschaft Bamiyans;
- (b) Modellierung der Felswand mit Hunderten von Mönchshöhlen;
- (c) Modellierung der leeren Buddha-Nischen;
- (d) Integration der Fresken in die Nische des Großen Buddha in höchster Auflösung;
- (e) 3D Rekonstruktion des Kleinen Buddha;
- (f) Erstellung eines GIS-basierten Touristeninformationssystems.

Wir haben die Arbeiten (a) bis (d) fast abgeschlossen und möchten im Folgenden kurz über die Ergebnisse berichten. Detailliertere Abhandlungen findet sich in GRUEN et al. 2004a, b.

Gemäß unterschiedlicher Ansprüche an Detailtreue sind obige Modelle in verschiedenen Auflösungsstufen zu erstellen. Die geometrische und radiometrische Auflösung steigert sich von (a) nach (d) kontinuierlich. Während das Produkt (a) mit 20 m DTM-Raster und 2.5 m radiometrischer Auflösung generiert wurde, haben wir bei den Fresken von Produkt (d) eine radiometrische Auflösung von 2 mm. Wir haben also den Faktor 1250 in der radiometrischen Auflösung zu überbrücken und etwa den gleichen Faktor in der geometrischen Auflösung.

Ein Ziel unserer Arbeiten ist die Verschmelzung aller Datensätze zu einem umfassenden 3D Modell für Zwecke der Visualisierung, Animation und Erstellung eines Räumlichen Informationssystems. Auf dem Weg dahin erwarten wir allerdings noch erhebliche Probleme.

4.1 Landschaftsmodellierung des Gebiets um Bamiyan

Das Objekt Bamiyan der UNESCO World Heritage List umfasst nicht nur die beiden stehenden zerstörten Buddhas selbst mit den Höhlen der umgebenden Felswand, sondern darüber hinaus weitere sieben Ensembles, die zu dem gesamten buddhistischen Klosterkomplex des Bamiyandistrikts gehörten (Webpage: <http://whc.unesco.org>). Daher ist hier der Begriff der „Cultural Landscape“, der ein neueres Element in der UNESCO World Heritage List darstellt, durchaus angebracht. Dies sollte auch die Computermodellierung berücksichtigen.

Da uns zur Landschaftsmodellierung keine Luftbilder zur Verfügung standen, mussten wir auf folgende Satellitenaufnahmen zurückgreifen:

- (a) SPOT 5 – HRG Stereopaar (panchromatisch) mit $49 \text{ km} \times 38 \text{ km}$ Geländeabdeckung und einer Auflösung von 2.5 m;
- (b) Zwei IKONOS Bildmosaike (panchromatisch und PAN-sharpened) mit $18 \text{ km} \times 12 \text{ km}$ Abdeckung und einer Auflösung von 1 m.

Die Georeferenzierung aller Bilder wurde mit sieben Passpunkten durchgeführt, die anlässlich einer Feldmission im August 2003 mit GPS eingemessen wurden. Abb. 7 zeigt das pan-sharpened IKONOS Mosaik mit den 7 Passpunkten. Die Verteilung dieser Punkte ist nicht ideal; sie stellt wegen der extrem schwierigen Zugänglichkeit weiter Teile des Geländes einen Kompromiss dar. Die Orientierung konnte bei IKONOS mit einer Genauigkeit von 0.5 m, bei SPOT Stereo mit 1.5 m durchgeführt werden.

Mit unserer Software SAT-PP (GRUEN & ZHANG 2003) wurde mittels automatischem Image Matching aus dem SPOT Stereopaar ein DTM hergestellt. Dieses wurde ergänzt durch einige manuell gemessene Bruchkanten im Bereich der Felswand. Daraus wurde anschließend ein 20 m Raster für das große Gebiet von $49 \text{ km} \times 38 \text{ km}$ und ein 5 m Raster für das Gebiet $18 \text{ km} \times 12 \text{ km}$ abgeleitet. Das 20 m Raster wurde mit der Textur eines SPOT Bildes überlagert, während das kleinere Gebiet mit dem pan-sharpened IKONOS Mosaik überlagert wurde. Abb. 8 zeigt diese beiden texturierten DTMs. Einen Blick auf die Felswand mit den leeren Buddha-Nischen vermittelt uns das IKONOS-texturierte Modell der Abb. 9.

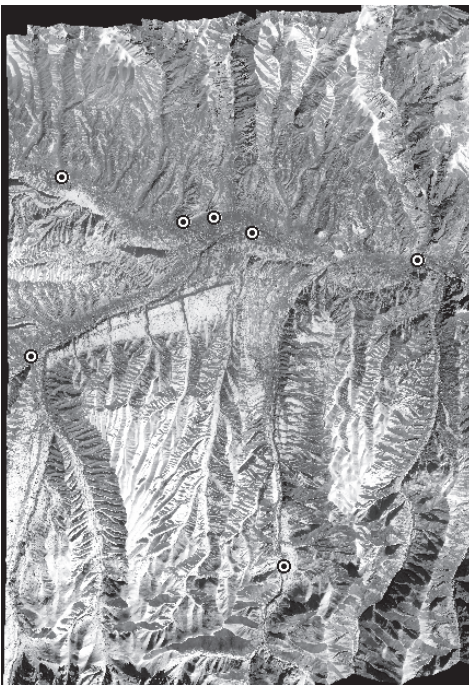


Abb. 7: IKONOS Mosaik (pan-sharpened) mit Passpunkten. Die Reihe der 3 Passpunkte etwas oberhalb des Bildzentrums markiert die Lage der Felswand mit den großen Buddhas.

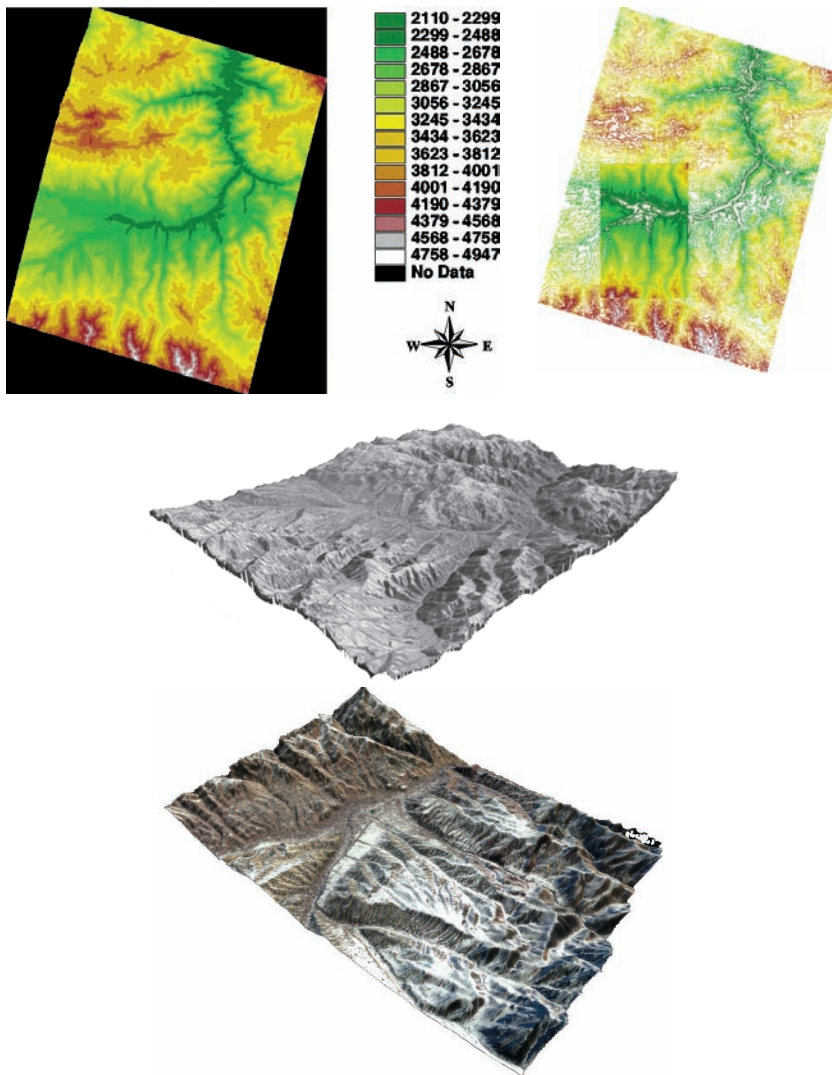


Abb. 8: Texturierte DTMs des Gebiets um Bamiyan. Oben: Die Lage der beiden DTMs zueinander, Mitte: Textur aus SPOT 5, unten: Textur aus IKONOS.

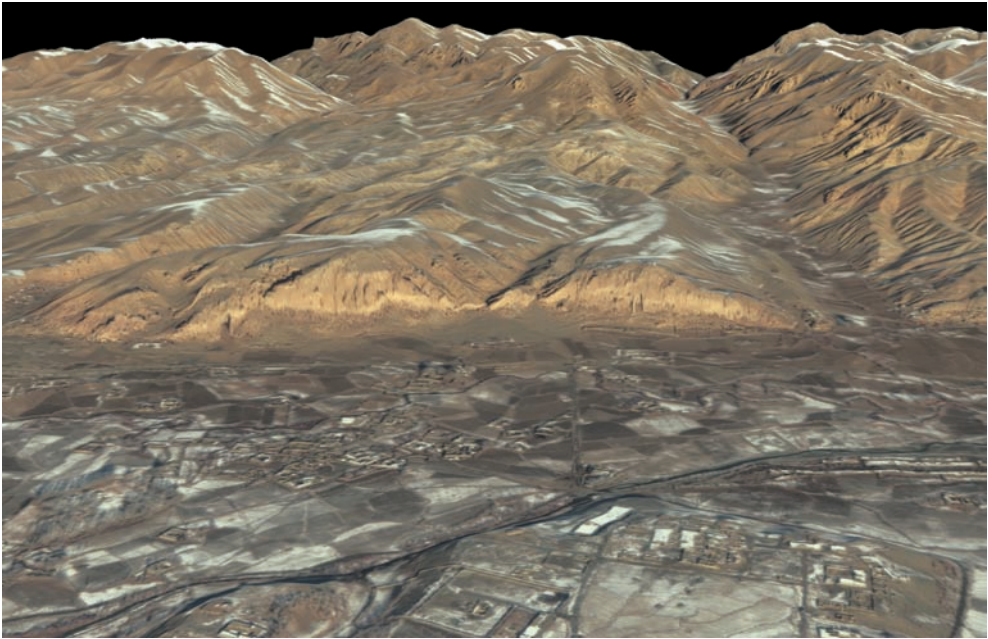


Abb. 9: DTM mit IKONOS Textur. Blick auf die Felswand mit den leeren Buddha-Nischen.

Fortsetzung: Siehe PFG, Heft 2/2005.

Fernerkundungstechnik zum Erkennen und Überwachen von Öl auf der Meeresoberfläche der Nord- und Ostsee

LARS TUFTE, OLAF TRIESCHMANN, THOMAS HUNSÄNGER & ULRICH BARJENBRUCH,
Koblenz

Keywords: remote sensing, oil spill, water pollution, SLAR, SAR, IR/UV, Microwave Radiometer, Laser Fluorosensor

Zusammenfassung: Zur Überwachung der Nord- und Ostsee hinsichtlich Meeresverschmutzungen wurde in der Bundesrepublik Deutschland ein modernes Beobachtungssystem entwickelt. Die flugzeuggestützte Überwachung mit ihren zwei Do 228-212 Flugzeugen ist der wesentliche Bestandteil des Systems. Bei den Verunreinigungen handelt es sich größtenteils um Ölverschmutzungen von Schiffen oder Offshore-Anlagen. Die Flugzeuge sind mit Seitensicht radar (SLAR), IR/UV Zeilenscanner, Mikrowellenradiometer (MWR), Laserfluorosensor (LFS) und Foto- und Video-Kameras ausgerüstet. Das Seitensicht radar (Weitbereichssensor) ermöglicht die großräumige Entdeckung von möglichen Ölverschmutzungen. Der IR/UV Zeilenscanner, das MWR und der LFS dienen als Nahbereichssensoren zur qualitativen und quantitativen Bestimmung der Verschmutzung. Als Ergänzung zur flugzeuggestützten Überwachung wurde der Einsatz von SAR-Satelliten (RADARSAT-1 und ENVISAT ASAR) untersucht. Die Nutzung von SAR-Satelliten stellt eine sinnvolle Ergänzung der flugzeuggestützten Ölüberwachung dar. Eine alleinige Überwachung durch die Nutzung von Satellitendaten ist aber aufgrund der temporalen Auflösung, der limitierten Sensorausstattung und der fehlenden juristischen Beweissicherung nicht empfehlenswert, jedoch ergänzen sich die Eigenschaften der satelliten- und flugzeuggestützten Ölüberwachung zu einem effizienten Überwachungssystem.

Summary: *Remote sensing techniques for the detection and surveillance of oil on the sea surface in the North Sea and Baltic Sea.* To conduct marine pollution monitoring a modern surveillance system was established in Germany. The aerial surveillance as the most important part of the system consists of two Do 228-212 aircraft. Most of the pollution are oil spills from vessels and oil rigs. The aircraft are equipped with a SLAR, an IR/UV scanner, a microwave radiometer (MWR), a laser fluorosensor (LFS) and cameras. The SLAR (long range sensor) is used to detect possible oil spills. The IR/UV scanner, the MWR and the LFS are used to classify and quantify the pollution. As a supplement to the aerial surveillance the employment of SAR satellites (RADARSAT-1 and ENVISAT ASAR) was investigated and the results are promising. Due to the temporal resolution, the limited sensors and the lack of possibility to collect evidence the exclusive use of satellite data for oil spill monitoring is not recommendable, but the complementary use of satellite- and airborne surveillance can lead to an efficient surveillance system.

1 Einleitung

Zur Überwachung der Nord- und Ostsee in Hinsicht auf Meeresverschmutzungen wurde in der Bundesrepublik Deutschland ein modernes Beobachtungssystem entwickelt. Der wesentliche Bestandteil dieses Systems ist die flugzeuggestützte Überwachung. Auftraggeber der Luftüberwachung ist das Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW). Die Luftüberwachung dient zur Ortung und Analyse von Verschmutzungen sowie der Einsatzsteuerung von Bekämpfungsschiffen. Zusätzlich kann sie wichtige Beweise für die Strafverfolgung von Verursachern illegaler Einleitungen liefern. Hauptaugenmerk ruht auf der Überwachung von Verschmutzungen, die vom Schiffsverkehr in der Nord- und Ostsee und den Offshore-Anlagen in der Nordsee ausgehen. Größtenteils handelt es sich dabei um Ölverschmutzungen.

Für die Überwachung werden 2 Fairchild/Dornier Do 228-212 Flugzeuge eingesetzt. Die maximale Flugdauer beträgt 5,5 h. Daraus ergibt sich bei einer mittleren Reisegeschwindigkeit von 360 km/h eine maximale Reichweite von ca. 2000 km.

Beide Flugzeuge sind mit zahlreichen Sensoren ausgestattet. Dies sind ein Seitensicht-radar (Side-Looking Airborne Radar, SLAR) für die großräumige Erkennung von möglichen Ölverschmutzungen sowie ein kombinierter Infrarot/Ultraviolett (IR/UV) Zeilenscanner zur Bestimmung der Ausdehnung. Ergänzt wird die Ausrüstung durch ein Mikrowellenradiometer (MWR) und einen Laserfluorosensor (LFS) zur detaillierteren Untersuchung der Verschmutzung. Foto- und Video-Kameras dienen der Identifizierung des Verursachers der Verschmutzung und der Beweissicherung. Ein Flugzeug ist zusätzlich mit einer vorwärtsgerichteten Infrarotkamera mit Laserilluminator ausgerüstet.

Ausgehend von der Beschreibung der Anforderungen an die operationelle Überwachung (Kapitel 2) werden die Sensoren in Kapitel 3 beschrieben. Dabei wird spezielles Augenmerk auf das MWR und den LFS gelegt, da diese beiden Instrumente nicht zu

den allgemein bekannten Fernerkundungssensoren gehören. Derzeit wird die Einsatzmöglichkeit von SAR-Satelliten (RADAR-SAT-1 und ENVISAT ASAR) zur Ergänzung der flugzeuggestützten Ölüberwachung im Rahmen des EU geförderten OCEANIDES Projektes untersucht. Erste Ergebnisse hierzu werden in Kapitel 4 beschrieben.

2 Operationelle Anforderungen an die Luftüberwachung

Die Überwachung der Nord- und Ostsee bezüglich Ölverschmutzungen (illegal oder durch einen Unfall eingeleitet) erstreckt sich auf die Deutsche Ausschließliche Wirtschaftszone (AWZ) in der Nord- und Ostsee und zum Teil auf angrenzende Gebiete der Nachbarstaaten, die im Rahmen von Abkommen überwacht werden. Sie muss möglichst unabhängig von den optischen Sichtverhältnissen und den Wetterverhältnissen sein und wechselnde Einsatzpläne ermöglichen. Sie sollte für mögliche Verursacher von Verschmutzungen keine vorhersehbaren Lücken bieten. Die entdeckte Ölverschmutzung soll mit einer Genauigkeit lokalisiert, klassifiziert und quantifiziert werden, die bei einem möglichem entdeckten Verursacher eine gerichtsverwertbare Beweislage für die Strafverfolgung ermöglicht. Bei der Bekämpfung/Beseitigung von Ölverschmutzungen sollen Informationen bezüglich der größten Öflächen mit der Position der größten Schichtdicke zum Zwecke der Einsatzkoordination der Bekämpfungsschiffe ermittelt und weitergegeben werden.

Aus den beschriebenen Anforderungen ergibt sich als Sensorplattform zwangsläufig ein Flugzeug, da sich nur hiermit die entsprechende Flexibilität und Reichweite erzielen lässt. Folgende allgemeine Anforderungen an die Sensoren lassen sich aus den beschriebenen operationellen Anforderungen ableiten:

- großräumige Überwachung der Seegebiete mit einem Weitbereichssensor (SLAR) zur Entdeckung von Strukturen, die auf mögliche Ölverschmutzungen hinweisen,

- anschließende Untersuchung der Ausdehnung, der Dicke und des Typs der Ölverschmutzung mit Nahbereichssensoren (IR/UV, MWR, LFS) und
- Einsatz von Kameras zur Beweissicherung (Idealerweise unabhängig vom Tageslicht).

3 Sensoren zur Ölüberwachung

Abb.1 zeigt einen Längsschnitt durch ein Do 228 Flugzeug der Luftüberwachung und die Anordnung der Sensoren. Im folgenden Kapitel werden das SLAR, der IR/UV Zeilenscanner, das MWR und der LFS näher beschrieben.

3.1 Das Seitensicht radar (Side-Looking Airborne RADAR, SLAR)

Der dominante Mechanismus für die Rückstreuung des Radarsignals von der Meeresoberfläche bei einem Einfallswinkel größer 20° ist die Bragg-Streuung (ULABY et al. 1982). Voraussetzung hierfür sind Kapillarwellen auf der Wasseroberfläche, welche durch den Wind gebildet werden. Mineralöl auf der Meeresoberfläche dämpft diese Kapillarwellen (ALPERS & HÜHNERFUSS 1989, MOUCHOT & GARELO 1998). Die Dämpfung führt zu einer Abnahme der Radarrückstreuung, die im Bild als dunkle Stellen sichtbar wird (Abb. 2). Aber auch natürliche Oberflächenfilme, wie sie zum Beispiel von Plankton oder Tieren produziert werden, zeigen starke wellendämpfende Eigenschaften

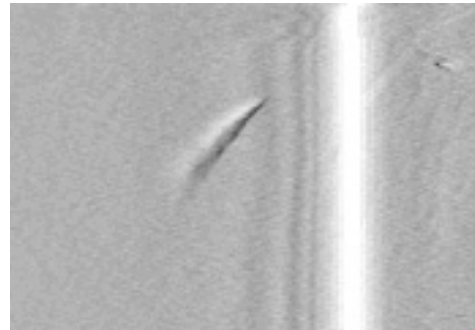


Abb. 2: Ölverschmutzung im SLAR-Bild (weißer Streifen ist die Flugbahn).

ten und können somit vergleichbare Strukturen im Bild erzeugen (GADE et al. 1998). Weitere natürliche Phänomene, die zu einer Reduzierung der Radarrückstreuung führen können, sind lokale Windveränderungen (Windabschattungen), Variationen in der Bodentopographie oder aufsteigendes kaltes Wasser.

Das Seitensicht radar (aktiver Sensor) dient zur weiträumigen Erkennung von möglichen Ölverschmutzungen auf der Meeresoberfläche. Der Sensor sendet quer zur Flugrichtung zu beiden Seiten Mikrowellenimpulse im X-Band (9,4 GHz) mit einer unter dem Flugzeug montierten zylindrischen Antenne aus. Die ausgesandten Mikrowellenimpulse des Radars werden von den Kapillarwellen der Meeresoberfläche, aber auch von Schiffen und anderen Installationen auf der Meeresoberfläche (z.B.

Längsschnitt durch das Meßflugzeug Do228LM1 mit der Meßbausrüstung

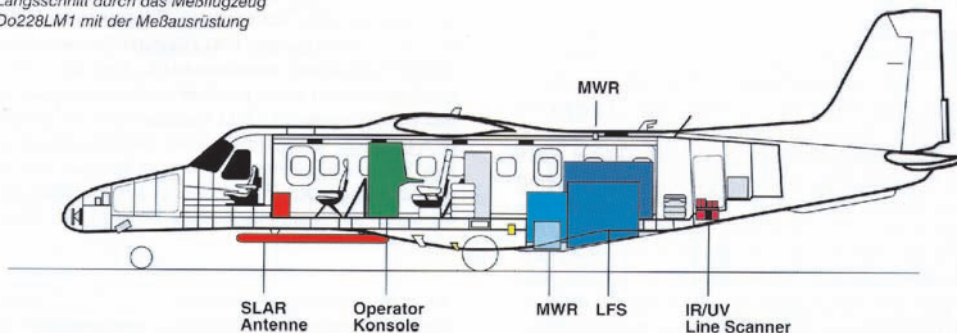


Abb. 1: Längsschnitt durch eine Do 228 der Luftüberwachung.

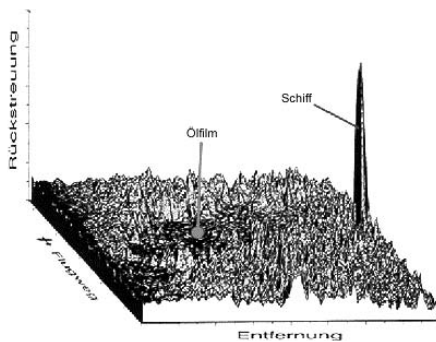


Abb. 3: Entfernungskorrigiertes Rückstreuprofil einer SLAR-Messung beim Flug über ölverschmutzter Seeoberfläche.

Bojen) mit unterschiedlicher Intensität rückgestreut (Radarecho). Durch Laufzeitunterschiede aufgrund unterschiedlicher Entfernungen quer zur Flugrichtung und aufgrund der Vorwärtsbewegung des Flugzeugs erfolgt eine zweidimensionale Abtastung der Oberfläche (Abb. 3). Das Seitensicht radar deckt einen Bereich von ca. 30 km links und rechts der Flugbahn ab. Die räumliche Auflösung beträgt ungefähr $60\text{ m} \times 30\text{ m}$ (parallel bzw. senkrecht zur Flugrichtung).

Das Seitensicht radar kann bei Tag und Nacht sowie unabhängig von den Wetterverhältnissen (z. B. Wolken) eingesetzt werden, so lange der Start des Flugzeugs möglich ist.

3.2 Infrarot/Ultraviolett Zeilenscanner (IR/UV Scanner)

Der Infrarot/Ultraviolett Zeilenscanner (IR/UV Scanner) tastet die Meeresoberfläche zeilenweise unterhalb des Flugzeuges ab. Bei einer Flughöhe von 300 m verfügt der Scanner über eine Streifenbreite von 500 m mit einer räumlichen Auflösung von 3,5 m. Daher wird der Sensor als Nahbereichssensor bezeichnet.

Der UV-Kanal (320–380 nm) erfasst das von der Meeresoberfläche reflektierte Sonnenlicht. Aufgrund der kurzen Wellenlänge können bereits sehr dünne Ölfilme mit einer Schichtdicke von weniger als $0,1\ \mu\text{m}$ nach-

gewiesen werden. Allerdings lassen sich aus den Daten des UV-Kanals keine quantitativen Aussagen über die Schichtdicke einer Ölverschmutzung ableiten. Die Nutzung des UV-Kanals ist nur tagsüber bei Sonnenlicht und bei guten Sichtverhältnissen möglich.

Der IR-Kanal (8,5–12,5 μm) erfasst die thermale Emission der Meeresoberfläche. Ölverschmutzungen ab einer Schichtdicke von $10\ \mu\text{m}$ können entdeckt werden. Aufgrund des geringeren Emissionsvermögens des Öls im Vergleich zum Wasser erscheint das Öl im Allgemeinen kälter als die Wasseroberfläche. Dieser Effekt ist aber nicht eindeutig, da Ölverschmutzungen mit einer Schichtdicke größer $0,5\ \text{mm}$ das Sonnenlicht absorbieren und an Sonnentagen somit wärmer als die umgebene Wasseroberfläche erscheinen können. Absolute Informationen über die Schichtdicke können aus dem IR-Kanal nicht gewonnen werden. Der IR-Kanal misst unabhängig vom Tageslicht. In der Nacht kann es aber durch die Abkühlung des Wassers und des Öls zu einer erneuten Umkehrung der Temperaturgegensätze kommen. Zwar wird die UV- und IR-Strahlung durch Wolken unterdrückt, jedoch sind die Flugzeuge in der Lage, unterhalb der Wolkendecke zu fliegen.

3.3 Mikrowellenradiometer (MWR)

Das Mikrowellenradiometer (MWR) ist ein passiver Nahbereichssensor. Es erfasst zeilenweise die von der Meeresoberfläche emittierte elektromagnetische Strahlung der drei Frequenzen 18,7 GHz, 36,5 GHz und 89 GHz. Bei einer Flughöhe von 300 m erzielt man eine räumliche Auflösung von 5 m mit einer Streifenbreite von ca. 500 m. Der Sensor ist aufgrund der geringen atmosphärischen Absorption der Mikrowellen weitgehend unabhängig von den Wetterverhältnissen (Durchdringung von Wolken und Nebel) und bei Dunkelheit einsetzbar.

Der Aufbau des MWR ist in Abb. 4 dargestellt. Die zeilenweise Abtastung der Meeresoberfläche erfolgt durch zwei um eine gemeinsame Achse rotierende parabolische Primärreflektoren (10 Umdrehungen pro Sekunde), welche über zwei Planreflektoren

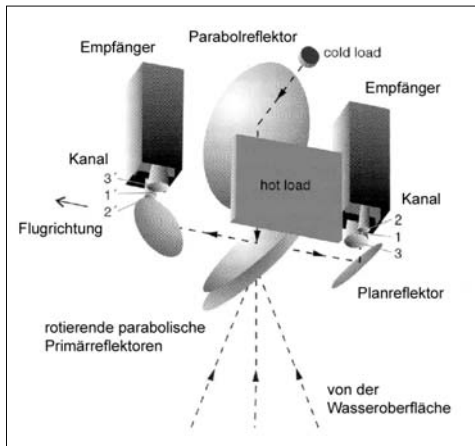


Abb. 4: Prinzipieller Aufbau des Mikrowellenradiometers.

die elektromagnetische Strahlung auf zwei baugleiche dreikanalige Empfängergruppen fokussiert. Die Kalibrierung der Empfänger erfolgt periodisch bei jeder vollständigen Umdrehung im „Hot/Cold“-Verfahren. Eine Absorbermatte bei Umgebungstemperatur dient als warme Kalibrierquelle („Hot-Load“) und ein baugleicher dritter Parabolreflektor in Kombination mit einem gekühlten Schwarzkörper als „Cold-Load“. Zu Korrekturzwecken (insb. bei Regen und Regenwolken) wird mit einem einkanaligen 89 GHz Radiometer (Zenitradiometer) der Atmosphärenzustand erfasst.

Zur quantitativen Bestimmung der Ölverschmutzung auf der Wasseroberfläche werden wellenlängenabhängige Interferenzphänomene bei Schichtdicken in μm - bzw. mm -Bereich, vergleichbar dem optischen „Farbschillern“ von sehr dünnen Ölfilmen, genutzt. Das modulare Mehrkanal-Radiometer ermöglicht eine eindeutige Bestimmung von Schichtdicken im Bereich von 0,05–2,5 mm.

Entscheidend für die Bestimmung ist die Differenz der Helligkeitstemperatur der Wasseroberfläche T_b^w und der Öloberfläche T_b^o gegeben durch (BROWN et al. 1998):

$$\Delta T_b = T_b^o - T_b^w = (e_o - e_w)(T_w - T_b^{sky})$$

e_o und e_w sind das Emissionsvermögen von Öl bzw. Wasser, T_w ist die Wassertemperatur und T_b^{sky} ist die Helligkeitstemperatur des Himmels.

Die Kurve der Helligkeitstemperatur oszilliert in Abhängigkeit von der Schichtdicke und erlaubt somit keine eindeutige Beziehung zur Schichtdicke herzustellen (Abb. 5). Aufgrund dieser Problematik kann eine eindeutige Schichtdickenbestimmung nur durch die Nutzung von mehreren Frequenzen erfolgen.

Die Schichtdicke ist somit eine Funktion der Helligkeits-Temperaturdifferenzen in den 3 Kanälen:

$$d = f(\Delta T_b^{18.7\text{GHz}}, \Delta T_b^{36.5\text{GHz}}, \Delta T_b^{89\text{GHz}})$$

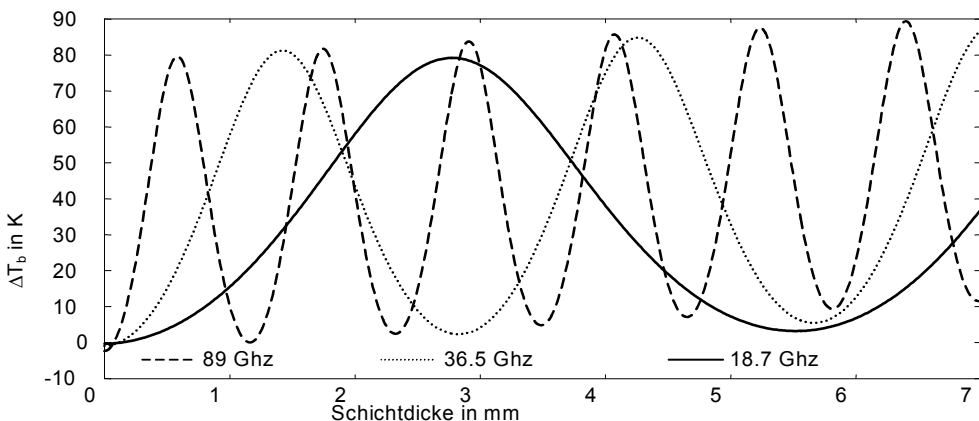


Abb. 5: Differenz der Helligkeitstemperaturen einer Wasser/Öl-Oberfläche mit einer Wasseroberfläche in Abhängigkeit von der Schichtdicke für die im MWR eingesetzten Frequenzen.

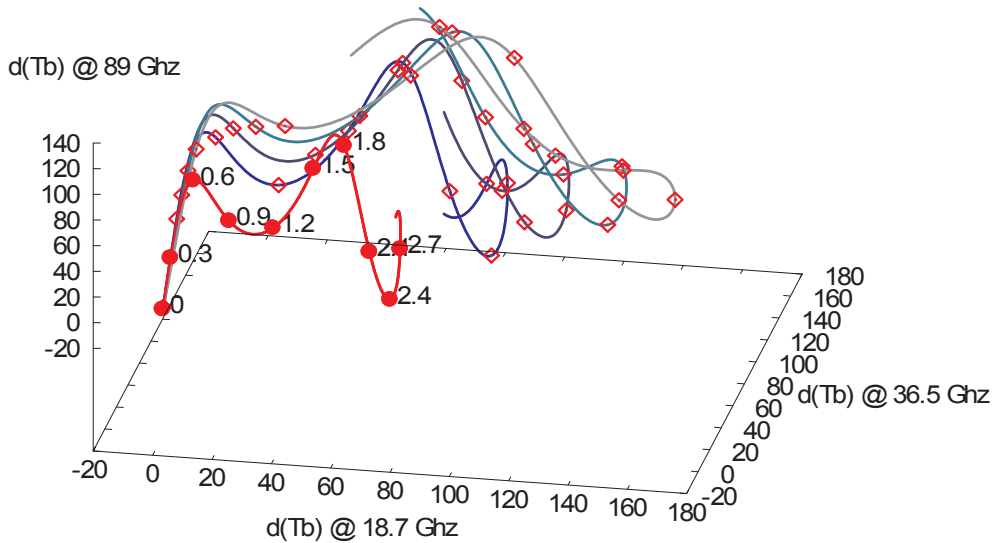


Abb. 6: 3-D Darstellung der Helligkeitstemperaturdifferenzen in den 3 MWR Kanälen für Schichtdicken von 0 mm–3 mm. Die unterschiedlichen Kurven unterscheiden sich im Anteil des Wassers in der Wasser/Öl-Emulsion (0% Rot monoton bis 20% ansteigend).

Tab. 1: Spezifikationen der Hochleistungslaser.

	XeCl Excimer	Farbstoff
Wellenlänge	308 nm	382 nm
Pulsenergie	150 mJ	20 mJ
Pulslänge	20 ns	15 ns
Strahl-divergenz	5 mrad	3 mrad
Wiederholrate (max/mittel)	200 Hz/110 Hz	20 Hz/20 Hz

In einer dreidimensionalen Darstellung (Abb. 6) kann ein eindeutiger Wert für die Schichtdicke gefunden werden.

Diese Methode ist unempfindlich gegen den Anteil von gelöstem Wasser in der Wasser/Öl-Emulsion, die sich nach der Ausbringung des Öls auf die Meeresoberfläche bildet.

3.4 Laserfluorosensor (LFS)

Ein Laserfluorosensor sendet durch Hochleistungslaser erzeugte intensive Lichtimpulse zur Anregung einer substanzspezifi-

schen Fluoreszenz aus. Dadurch kommt es in der oberen Wassersäule zur Emission von Streu- (aufgrund von elastischer- und Raman-Streuung) und Fluoreszenzlicht, das mit einem Teleskop im Flugzeug erfasst und mit einer Detektoreinheit aufgezeichnet werden kann. Laserfluorosensoren können für zahlreiche hydrographische Fragestellungen eingesetzt werden (siehe z. B. MEASURES 1984).

Für die Luftüberwachung werden 2 Hochleistungslaser mit den in Tab. 1 aufgeführten Spezifikationen eingesetzt.

Der Xenonchloride (XeCl) Excimer-Laser dient zur Analyse von Öl, Huminstoffen (Gelbstoffen) und organischen Verunreinigungen. Der Farbstoff-Laser dient zur Anregung der Chlorophyll Fluoreszenz für die Bestimmung von Phytoplankton bzw. Algen (REUTER et al. 1997).

Das vom Teleskop (Typ Schmidt-Cassegrain, Apertur 20 cm) erfasste Streu- und Fluoreszenzlicht wird durch eine zwölfkanalige Detektoreinheit (Photo Multiplier) aufgezeichnet. Die Wellenlängenselektion erfolgt durch dichroitische Strahlenteiler und Interferenzfilter. Jeder Kanal hat eine Bandbreite von 10 nm. Die Spektralkanäle

Tab. 2: Spektralkanäle und Charakteristika der Detektoreinheit.

Wellenlänge [nm]	Charakteristik
344	Wasser Basislinie Raman-Streuung bei Anregung mit 308 nm
330/365/382	Basislinie Raman-Streuung, Öl und Gelbstoff Fluoreszenz
440	Wasser Basislinie Raman-Streuung bei Anregung mit 382 nm
410/470	Basislinie Raman-Streuung, Öl und Gelbstoff Fluoreszenz
500/550/600/650	Öl und Gelbstoff Fluoreszenz
685	Chlorophyll Fluoreszenz

wurden in Hinblick auf die Raman-Streuung und die Erkennung von Öl und organischen Substanzen gewählt (Tab. 2).

Mineralöl besteht aus einer große Anzahl unterschiedlicher Kohlenwasserstoffe mit sehr unterschiedlichen fluoreszenzspektroskopischen Eigenschaften. Aufgrund der unterschiedlichen Zusammensetzung von Mineralöl variieren die Fluoreszenzspektren in ihrer Form und der Intensität. Natürliche Substanzen, wie zum Beispiel Fischöl, zeigen ähnlich markante aber von Mineralöl verschiedene Spektren und können somit von Mineralöl unterschieden werden. Die Klassifizierung des Öls bezüglich des Öltyps erfolgt durch den Vergleich mit gemessenen Laborspektren (HENGSTERMANN & REUTER 1992).

Die Bestimmung der Schichtdicke im Bereich 0,1–20 µm kann durch die charakteristische Ramanstreuung des Wassers in der Säule bestimmt werden. Diese wird, in Abhängigkeit vom Öltyp, durch Absorption durch das Öl gedämpft. Die Dämpfung ist ein direktes Maß für die Schichtdicke.

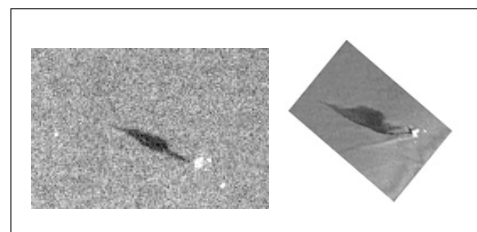
4 Kombinerter Einsatz von flugzeug- und satellitengestützten Fernerkundungsdaten für die Ölüberwachung

Für die Ölüberwachung wird in zunehmendem Maße zusätzlich auch auf Satellitendaten zurückgegriffen. Mehrere Firmen bieten einen operationellen Service an (AL-KHUDHAIRY 2002). Zum Einsatz kommen Satelliten mit Radarsensoren (SAR, Synthetic Aperture Radar) wie zum Beispiel RADARSAT-1 (www.rsi.ca) oder ENVISAT (envisat.esa.int). Neben den schon beim Seitensichtradar beschriebenen Vorteilen (Wetterunabhängigkeit, Tag/Nacht Einsatzfähigkeit) bieten die Satelliten eine große räumliche Abdeckung bei ausreichend hoher räumlicher Auflösung (siehe Tab. 3).

Abb. 7 zeigt den Vergleich zwischen zwei Beobachtungen einer Ölverschmutzung von einer Bohrinsel mit dem Seitensichtradar und mit RADARSAT-1. Der Zeitunter-

Tab. 3: Räumliche Abdeckung und Auflösung von RADARSAT-1 u. ENVISAT ASAR (ESA 2002, RSI 1999).

	RADARSAT-1 ScanSAR Narrow	ENVISAT ASAR Wide Swath
Räumliche Abdeckung	300 km × 300 km	400 km × 400 km
Räumliche Auflösung	50 m	150 m

**Abb. 7:** Vergleich der Bilder einer Ölverschmutzung vom Seitensichtradar des Flugzeugs (Rechts) und vom RADARSAT-1 Satellit (Links) (RADARSAT-1 data copyright Canadian Space Agency/agence spatiale canadienne 2003, processed and distributed by KSAT).

Tab. 4: Informationen zu dem im SAR- und SLAR Bild entdeckten Ölfilm.

	RADARSAT-1 SAR	Flugzeug SLAR
Datum/ Uhrzeit	15.7.2003 17:19 UTC	15.7.2003 19:24 UTC
Position	55° 29' 02'' N 5° 03' 25'' O	55° 28' 18'' N 5° 06' 00'' O
Länge × Breite	8,1 km × 0,8 km	6,6 km × 1,6 km
Volumen	keine Angaben	16,47 m ³

schied zwischen den beiden Aufnahmen ist kleiner als 2 Stunden (Tab. 4).

Die Position von in Satellitendaten entdeckten Ölverschmutzungen können an ein Überwachungsflugzeug übermittelt werden, um eine Mengenbestimmung und Klassifizierung des Öls mit Hilfe der Sensoren an Bord durchzuführen.

Die Überwachung mit Flugzeugen und Radarsatelliten hat jeweils spezifische Vor- und Nachteile, wobei sie sich gut ergänzen (Tab. 5).

Im Rahmen des EU-geförderten OCEANIDES Projektes (intelligence.jrc.cec.eu.int/marine/oceanides/oceanides.html) wird die Einsatzmöglichkeit von Satellitendaten in Kombination mit der flugzeuggestützten Überwachung untersucht. Neben dem wichtigen Aspekt der Genauigkeit der Ölerkennung in Satellitendaten ist die Betrachtung



Abb. 8: Ausschließliche Wirtschaftszone der Bundesrepublik Deutschland.

der temporalen und räumlichen Abdeckung der Ausschließlichen Wirtschaftszone der Bundesrepublik Deutschland (AWZ, Abb. 8) ein wichtiges Kriterium.

Bei einer angenommenen Streifenbreite des Seitensichtradars von 60 km wird die AWZ in der Nordsee, in Abhängigkeit von der gewählten Flugroute, zu ca. 35 %–60 % (Mittelwert 55 %) abgedeckt. Für die AWZ in der Ostsee beträgt die räumliche Abdeckung mehr als 90 %. Im Jahr 2002 wurden zum Beispiel 346 Nordsee-Einsätze und 190 Ostsee-Einsätze von der Luftüberwachung durchgeführt.

Eine über 95%ige Abdeckung der Ostsee wird nur von 30 RADARSAT-1 und 52 ENVISAT ASAR Szenen pro Jahr erreicht. Mit den beiden vorhandenen Satelliten lassen sich ähnliche jährliche Flächenabdeckungen erreichen. Jedoch ergibt die zeitliche Vertei-

Tab. 5: Vor- und Nachteile der Überwachung mit Flugzeugen und Radarsatelliten (TRIESCHMANN et al. 2003).

Flugzeug	Radarsatellit:
<ul style="list-style-type: none"> + hohe räumliche Auflösung + direkte vor Ort Kontrolle (Verifikation) + Klassifizierung des Öls + Bestimmung der Schichtdicke + Beweissicherung + Flugroute bestimmbar 	<ul style="list-style-type: none"> + große räumliche Abdeckung + können Ölalarm für die Flugzeuge geben + 24 h Betrieb + unabhängig vom Wetter (Flugwetter) + Schiffsrouten können weiträumig überwacht werden + liefert langfristige statistische Daten
<ul style="list-style-type: none"> – geringe räumliche Abdeckung – hohe Kosten 	<ul style="list-style-type: none"> – geringere räumliche Auflösung – geringere Genauigkeit – derzeit geringe Wiederholrate – derzeit noch hohe Kosten pro Satellitenszene – feste Aufnahmezeiten

Tab. 6: Eigenschaften der einzelnen Sensoren bzw. Satelliten.

	Visuelle Beobachtung	SLAR	UV	IR	MWR	LFS	RADARSAT ScanSAR Narrow	ENVISAT ASAR Wide Swath
Streifenbreite (Flugzeug Flughöhe von 300 m)	ca. ± 3 km	± 30 km	± 250 m			± 75 m	300×300 km	400×400 km
Klassifizierung	Nein	Nein				Ja	Nein	Nein
Sensitiv für Schichtdicke des Öls	Nein	Nein	$> 0,1 \mu\text{m}$	$> 0,1 \mu\text{m}$	$50 \mu\text{m} - 2,5 \mu\text{m}$	$0,1 \mu\text{m} - 20 \text{mm}$	Nein	Nein
Räumliche Auflösung	Hoch	$60 \text{m} \times 30 \text{m}$	$3,5 \text{m}$	$3,5 \text{m}$	$> 5 \text{m}$	10m Pixelabstand	50m	150m
Entdeckung von Unterwasseröl	Nein	Nein				Ja	Nein	Nein
Bei Dunkelheit nutzbar	Nein	Ja	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Schichtdickenbestimmung	Erscheinung des Öls	Nein			$50 \mu\text{m} - 2,5 \text{mm}$	$0,1 \mu\text{m} - 20 \mu\text{m}$	Nein	Nein
Messgeometrie	Visuell	Zeilenweise, 20 Hz				Konisch, 5 Hz	Bild zeilenweise	Bild zeilenweise
Nutzungseinschränkungen	Nein	Nein	Wolken	Wolken	Nein	Wolken, Flughöhe	Nein	Nein

lung der Satellitenüberflüge Überwachungs-lücken von mehreren Tagen.

Der Einsatz von Satellitendaten ist eine sinnvolle Ergänzung der flugzeuggestützten Luftüberwachung und kann zu einer Erhöhung der Abdeckung und einer Effizienzsteigerung der Ölüberwachung führen. Eine Ablösung der Luftüberwachung durch die Nutzung von Satellitendaten ist aufgrund der genannten Vorteile/Fähigkeiten der Luftüberwachung (siehe Tab. 5) und der mangelnden temporalen Abdeckung der Seegebiete augenblicklich nicht möglich.

5 Zusammenfassung

Die Kombination der Sensordaten der Flugzeuge ermöglicht eine sehr leistungsfähige Ölüberwachung. Während das Seitensicht-radar des Flugzeuges als Weitbereichsensor mögliche Ölverschmutzungen in einem großräumigen Bereich erfassen kann, sind die Nahbereichsensoren in der Lage, die Menge, die Qualität und den Typ zu bestimmen. Mit Hilfe des IR/UV Sensors kann die räumliche Ausdehnung der Ölverschmutzung erfasst werden. Besonders im UV-Ka-

nal ist die maximale räumliche Ausdehnung der Ölverschmutzung klar erkennbar. Ausgehend von dieser Abgrenzung kann die Schichtdicke durch die Kombination der drei Frequenzen des MWR bestimmt werden. Der LFS dient zur Bestimmung des Öltyps und der Messung von geringen Schichtdicken. Tab. 6 fasst die Eigenschaften der flugzeug- und satellitengestützten Sensoren zusammen. Die wichtigsten sensorspezifischen Merkmale der einzelnen Sensoren sind farblich hervorgehoben.

Die Nutzung von SAR-Satellitendaten stellt eine sinnvolle Ergänzung der flugzeuggestützten Ölüberwachung dar. Eine alleinige Überwachung durch die Nutzung von Satellitendaten ist aber aufgrund der temporalen Auflösung, der limitierten Sensorausstattung und der fehlenden juristischen Beweissicherung nicht empfehlenswert.

6 Danksagung

Diese Arbeit wurde unterstützt vom Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW). Das OCEANIDES Projekt (EVK2-CT-2002-00177) wird durch

die EU gefördert (EESD-ENV-2002GMES).

Das Marinefliegergeschwader 3 „Graf Zeppelin“ führt den operationellen Betrieb der Flugzeuge durch und bedient die Sensorik im Flug. Das Havariekommando koordiniert den operationellen Einsatz der Luftüberwachung. Wir bedanken uns bei beiden Institutionen für die große Unterstützung.

Die Sensorik ist von Fa. Optimare GmbH hergestellt worden.

Die im Artikel geäußerten Meinungen entsprechen nicht zwangsläufig denen des BMVBW oder der EU-Kommission.

7 Literatur

- AL-KHUDHAIRY, D. H. A., 2002: Marine oil pollution. Technologies and methodologies for detection and early warning. – 192 S., European Commission IPSC, Ispra, Italy.
- ALPERS, W. & HÜHNERFUSS, H., 1989: The damping of ocean waves by surface films: A new look at an old problem. – *Journal of Geophysical Research* **94** (C5): 6251–6265.
- BROWN, E. R., MCMAHON, O. B., MURPHY, T. J., HOGAN, G. G., DANIELS, G. D. & HOVER, G., 1998: Wide-band radiometry for remote sensing of oil films on water. – *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques* **46** (12): 1989–1996.
- ESA, 2002: ASAR Product handbook. – 543 S., ESA.
- GADE, M., ALPERS, W., HÜHNERFUSS, H., MASUKO, H. & KOBAYASHI, T., 1998: Imaging of biogenic and anthropogenic ocean surface films by the multifrequency/multipolarization SIR-C/X-SAR. – *Journal of Geophysical Research* **103** (C9): 18851–18866.
- HENGSTERMANN, T. & REUTER, R., 1992: Laser Remote sensing of pollution of the sea: a quantitative approach. – *EARSel Advances in Remote Sensing* **1**: 52–60.
- MEASURES, R. M., 1984: Laser remote sensing: fundamentals and applications. – 524 S., Wiley & Sons, New York.
- MOUCHOT, M.-C. & GARELLO, R., 1998: SAR for Oceanography. – In: HENDERSON, F. M. & LEWIS, A. J. (Hrsg.): Principles and applications of imaging radar. – **2**: 631–675, John Wiley & Sons, New York.
- REUTER, R., WILLKOMM, R., ZIELINSKI, O. & MILCHERS, W., 1997: Hydrographic laser fluorosensing: status and perspectives. – In: STEEL, J. H., BEHRENS, H. W. A., BORST, J. C., DROPPERT, L. J. & VAN DER MEULEN, J. P. (Hrsg.): Operational oceanography. The challenge for European co-operation. – 251–258, Elsevier, Amsterdam.
- RSI, 1999: RADARSAT user guide. 113 S., RSI.
- TRIESCHMANN, O., HUNSÄNGER, T., TUFTE, L. & BARJENBRUCH, U., 2003: Data assimilation of an airborne multiple remote sensor system and of satellite images for the North- and Baltic Sea. In: – BOSTATER JR., C. R. & SANTOLERI, R. (Hrsg.): Remote sensing of the ocean and sea ice 2003. – *SPIE* **5233**: 51–60, Bellingham, WA.
- ULABY, F. T., MOORE, R. K. & FUNG, A. K., 1982: Microwave remote sensing: Active and passive. Volume II: Radar remote sensing and surface scattering and emission theory. – Artech House, Norwood, MA.

Anschrift der Autoren:

Dipl.-Geogr. LARS TUFTE

Dr. OLAF TRIESCHMANN

Dipl.-Ing. THOMAS HUNSÄNGER

Dr. habil. ULRICH BARJENBRUCH

Bundesanstalt für Gewässerkunde

Am Mainzer Tor 1, D-56068 Koblenz

Tel.: 0261-1306 5413, Fax: 0261-1306 5363

e-mail: tufte; trieschmann; hunsaenger;

barjenbruch@bafg.de

Manuskript eingereicht: Mai 2004

Angenommen: Juli 2004

Zusammenstellung und Interpretation relevanter SAR-immanenter Spezialfälle der Radarrückstreuung am Beispiel einer hoch aufgelösten polarimetrischen L-Band Szene

CHRISTIAN THIEL, Jena

Keywords: scattering effects, Bragg-scattering, Dipole-scattering, phase noise, SAR-polarimetry, high-resolution-SAR, L-band

Zusammenfassung: SAR-Daten unterscheiden sich durch eine Vielzahl charakteristischer Eigenschaften von optischen Aufnahmen. Hintergründe hierfür sind die Verwendung quasi monochromatischer Mikrowellen, die Schrägsichtgeometrie sowie die kohärente Arbeitsweise eines SAR. Intensität und Mechanismus der Rückstreuung sind an die geometrischen und dielektrischen Eigenschaften der Streumediten gekoppelt. Die Kombination der Funktionsweise eines SAR mit der Sensitivität für die Geometrie der Streuobjekte resultiert in einer Fülle spezieller Rückstreuungseffekte. Insbesondere bei hoch aufgelösten SAR-Daten müssen derartige Effekte bei der Interpretation der Daten berücksichtigt werden. In dieser Abhandlung werden die wichtigsten Spezialfälle vorgestellt und mit Beispielen belegt.

Summary: *Compilation and interpretation of relevant SAR-immanent special cases of radar backscattering considering as an example a high resolution polarimetric L-Band scene.* SAR-data differ in a number of specific characteristics from optical recordings. The reasons for that are the applications of quasi-monochromatic microwaves, the slant range geometry as well as the coherent operating mode of SAR-Systems. Intensity and mechanism of the backscattered electromagnetic wave are driven by the geometric and dielectric properties of the scattering objects. Combining the functionality of a SAR with its sensitivity for the geometry of the scattering objects leads to an amount of special backscattering effects. For the interpretation of high resolution SAR-data in particular these effects need to be taken into account. In this paper the most essential special cases will be presented and examples are given.

1 Einleitung

Hoch aufgelöste polarimetrische SAR-Daten bieten ein breites Spektrum an Einsatzmöglichkeiten. Zu nennen sind vor allem die Ableitung biophysikalischer Parameter sowie die Klassifikation der Landbedeckung. Die korrekte Interpretation der Daten setzt allerdings die Kenntnis der prinzipiellen Funktionsweise eines SAR voraus. Im Zusammenhang mit dieser Funktionsweise stehen Spezialfälle der Radarrückstreuung, die bei optischen Fernerkundungsdaten nicht zu finden sind. SAR-Systeme arbeiten mit

quasi-monochromatischer Mikrowellenstrahlung in Schrägsichtgeometrie. Die Aussendung der einzelnen Pulse erfolgt kohärent. Zudem reagiert die verwendete elektromagnetische Strahlung auf geometrische sowie dielektrische Eigenschaften der Oberflächen.

Der Großteil der hier behandelten speziellen Rückstreuungseffekte wird in der Fachliteratur theoretisch beschrieben. Diese Arbeit soll dagegen einen praxisbezogenen Beitrag für die Interpretation hoch aufgelöster SAR-Daten leisten. Im Wesentlichen werden die folgenden Spezialeffekte behandelt:

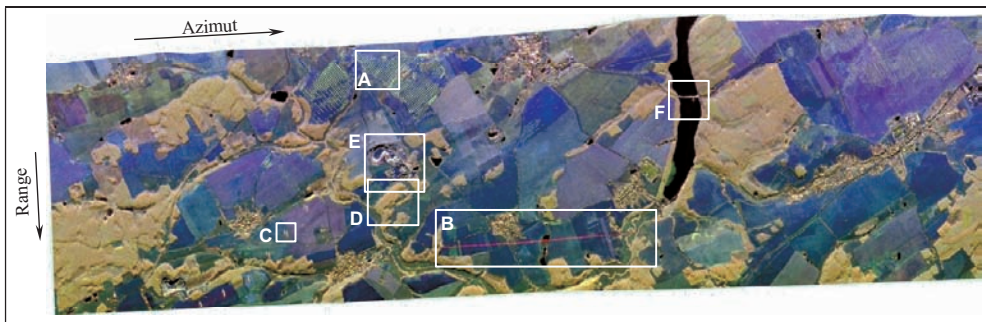


Abb. 1: E-SAR Szene – Intensitäten (RGB – L-HH, L-VV, X-VV).

Bragg-Streuung am Reifenabdruck eines landwirtschaftlichen Nutzfahrzeuges, Dipol-Streuung an einer Hochspannungsleitung, *Foreshortening* an einem Hochspannungsmast, multiple Rückstreupfade am Beispiel einer Waldkante und eines Steinbruchs sowie Phasenrauschen bei glatten Oberflächen am Beispiel eines Gewässers.

Für die Analyse dieser speziellen Rückstreuungseffekte erfolgt z.T. die Einbeziehung der anhand der Eigenvektordekomposition (CLOUDE & POTTIER 1996) berechneten Polarisationsparameter Alpha-Winkel (α), Entropie (H) und Anisotropie (A).

2 SAR-Daten

Die vom E-SAR aufgezeichnete polarimetrische L-Band Szene (Dimensionen ca. $3 \text{ km} \times 10 \text{ km}$, Abb. 1) befindet sich im nördlichen Sektor des Einzugsgebietes der Trinkwassertalsperre Zeulenroda, Thüringen (Abb. 2). Die Hauptausdehnung des Streifens verläuft in Ost-West-Richtung. Das Einzugsgebiet der Talsperre Zeulenroda befindet sich im östlichen Randbereich des Thüringer Schiefergebirges in Südostthüringen an der Grenze zu Sachsen. Es erstreckt sich mit einer Fläche von $138,9 \text{ km}^2$ (TTV 1999) über die Landkreise Schleiz und Zeulenroda in Thüringen sowie Plauen in Sachsen. Die Befliegung wurde am 30.03.1999 gegen 13:00 Uhr durchgeführt. Für eine weiterführende Gebiets- und Datenbeschreibung siehe THIEL (2004).

Im Amplitudenbild (Abb. 1) sind Areale hoher Rückstreuung wie Wälder und Sied-

lungen durch helle Farbschattierungen gekennzeichnet. Diese Landbedeckungsformen erscheinen in der Komposite in gelben Farbtönen. Die helle Farbe resultiert aus der hohen Rückstreuintensität dieser Landnutzungsformen im L-Band. Eine sehr geringe Rückstreuung ist bei Wasserflächen oder anderen glatten Oberflächen wie befestigten Straßen oder Plätzen zu verzeichnen. In Abb. 1 sind diese Bereiche sehr dunkel bis schwarz. Alle restlichen Flächen besitzen eine mittlere Rückstreuintensität. Hierzu zählen vor allem Bereiche mit niedriger Vegetation, landwirtschaftliche Nutzflächen oder Grünland.

3 Spezialfälle der Radarrückstreuung

In der Komposite aus Abb. 1 sind 6 Bereiche (A-F) durch weiße Rahmen hervorgehoben. Diese Areale wurden zum Zweck der Erklärung der Rückstreuphänomene gewählt. In den Abb. 3 und 5-9 sind diese Bereiche vergrößert dargestellt. Diese Vergrößerungen (RGB-Kompositen [L-HH, L-HV, L-VV]) basieren auf den anhand der SLC-Daten berechneten ungefilterten Amplitudenbildern.

3.1 Bragg-Streuung

Bildausschnitt A wurde gewählt, um die Ursache der hellen Streifen auf einigen Felder am Nordrand der E-SAR Szene zu klären. Diese sind jeweils etwa 45° zur Flugrichtung des Sensors ausgerichtet (Abb. 3).

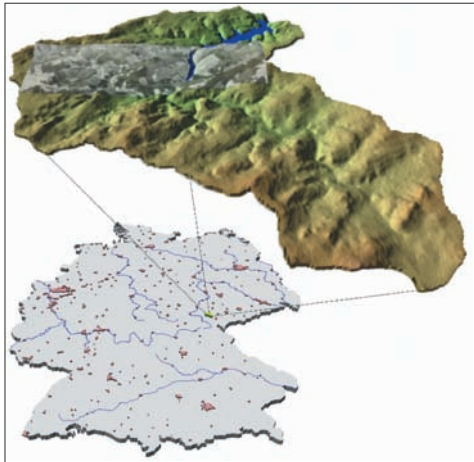


Abb. 2: Lage des Untersuchungsgebietes.

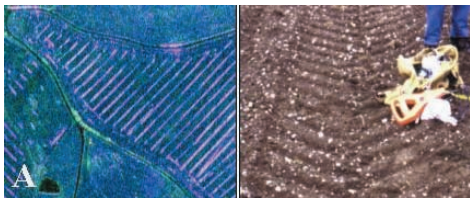


Abb. 3: Bragg-Streuung durch Traktorspuren.

Deren Gestalt und Anordnung auf dem Feld legt den Verdacht nahe, dass sie aus der Feldbearbeitung durch schwere landwirtschaftliche Maschinen resultieren. Tiefe Traktorspuren könnten wie zweiflächige Cornerreflektoren wirken und hohe Rückstreuwerte verursachen. Dagegen spricht jedoch die Ausrichtung der Spuren von 45° zum Sensor. Außerdem ergab die polarimetrische Auswertung der Daten den Rückstreutyp Oberflächenstreuung ($\alpha < 10^\circ$), nicht *Double Bounce*. Die Erklärung dafür liegt im Reifenprofil der Maschine. Die etwa 10 cm breiten Profillamellen sind V-förmig im Winkel von 45° bzw. -45° zur Fahrtrichtung angeordnet. Somit ist ein Teil der Vertiefungen des Reifenabdrucks parallel zur Flugrichtung des Sensors ausgerichtet. Der Abstand der Vertiefungen im Zusammenspiel mit deren Ausrichtung zum Sensor, einer Wellenlänge λ von 23 cm und dem passenden lokalen Einfallswinkel θ führt zur

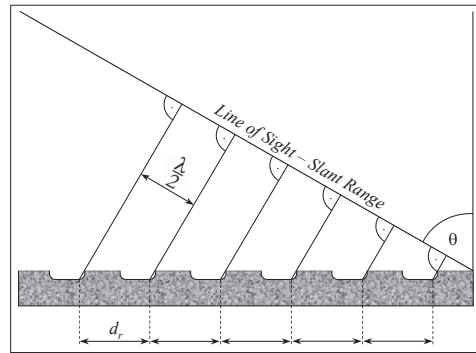


Abb. 4: Bragg-Rückstreukonditionen, verändert nach RANEY (1998), S. 43.

positiven Interferenz zwischen den Einzelstreuern innerhalb einer Auflösungszelle (Abb. 4). Die Bragg Rückstreukonditionen (Gl. 1) sind erfüllt (LEWIS 1998).

$$d_r = \frac{n\lambda}{2\sin\theta} \quad (1)$$

Die vektorielle Addition der kohärenten Strahlung der Einzelstreuern (Vertiefungen des Reifenabdrucks in der jeweiligen Fahrspur) ist konstruktiv. Im Bereich der Traktorspuren ist folglich kaum Speckle ausgebildet.

3.2 Dipol-Streuung

Am südlichen Bildrand (Bildausschnitt B) verläuft etwa in der Mitte der Szene ein auffälliger Streifen mit einer hohen Rückstreuintensität (Abb. 5). Dieser steht mit einer das Untersuchungsgebiet durchziehenden Hochspannungsüberlandleitung in Verbindung. Drei Überlandkabel werden hier von Holzmasten getragen.

Die Leitungen verlaufen für ca. 2,4 km parallel zur Flugrichtung des Sensors. Nur



Abb. 5: Dipolstreuung an Hochspannungsleitung.

innerhalb dieser Strecke sind sie im SAR-Bild sichtbar. Die Analyse der Polarisationsparameter ergab für (α) einen Wert von 45° , die Entropie geht gegen Null ($H = 0,03$). Folglich besitzt die Anisotropie keine interpretierbare Information. Der Wert für (α) bedeutet Dipolstreuung. Da es sich hierbei um den einzigen Rückstreuprozess handelt, kann (α) direkt interpretiert werden. Der Dipol in Form der Leitung ist exakt zur Schwingungsebene des elektrischen Feldvektors der EM Welle ausgerichtet. Dies bestätigt sich zusätzlich dadurch, dass die Hochspannungsleitung nur in der HH-Polarisation zu sehen ist.

3.3 Foreshortening

Bei dem Bildausschnitt C handelt es sich um die Masten zweier weiterer Hochspannungsüberlandleitungen (Abb. 6). Diese durchziehen das Untersuchungsgebiet in der linken Bildhälfte von Südwest nach Nordost.

Durch die Metallbauweise und die vertikal, horizontal, als auch diagonal orientierten Streben erzeugen die Masten in jeder Polarisation und Frequenz ein sehr hohes Rückstreusignal. Auffällig im SAR-Bild ist die Neigung nach Norden (zum Sensor). Dieser Effekt basiert auf der *Slant Range* Geometrie während der Aufzeichnung des SAR-Bildes. Aufgrund deren spezifischen Höhe ist die Distanz zwischen der Spitze der Masten und dem Sensor geringer als jene zwischen Sensor und Mastfuß. Bei dem Bildausschnitt C handelt es sich folglich um einen speziellen Fall von *Foreshortening* bzw. *Layover*. Ein Radarschatten wird dennoch nicht erzeugt. Ein Großteil der Radarstrahlung durchdringt die Masten aufgrund der Strebenbauweise.



Abb. 6: Foreshortening an Hochspannungsmasten.

3.4 Multiple Rückstreupfade

3.4.1 Beispiel Waldkante

Bildausschnitt D umschließt eine dem Sensor zugewandte Waldkante. Dieser Bereich ist in Abb. 7 vergrößert dargestellt. Für diese RGB-Komposite wurden die Polarisationsparameter (λ_1 erster Eigenwert der Kohärenzmatrix), (H) und (A) herangezogen.

Der Waldbereich tritt durch hellblaue Farbtöne hervor. In *Range*-Richtung hinter der Waldkante ist ein Band besonders hoher Rückstreuwerte durch rote Farbschattierungen (hohe λ_1 -Werte) zu erkennen. In diesem Bereich dominiert Doppelreflexion (*Double Bounce*). Der Pfad der Rückstreuung bezieht hier zwei Reflexionsebenen ein. Dies sind die vertikal ausgerichteten Baumstämme sowie die glatte Oberfläche im Bereich der Waldkante (Abb. 7, rechts). Im restlichen Waldareal ist der *Double Bounce* Anteil zugunsten der Volumenstreuung geringer.

Im Fall der Volumenstreuung ist der zurückgelegte Weg der Radarstrahlung aufgrund der höheren Position der Baumkronen sowie des kürzeren Reflexionspfades deutlich geringer als jener bei *Double Bounce* (Abb. 7, rechts). Aus diesem Grund sind im SAR-Bild Objekte, die *Double Bounce* hervorrufen, in *Range*-Richtung verschoben.

3.4.2 Beispiel Steinbruch

Bildausschnitt E (Abb. 8) zeigt einen Alaunschiefersteinbruch inklusive Halde. Der Steinbruch ist ca. 300 m breit und 20 m tief. Die ebene Sohle ist von steilen Wänden umgeben.

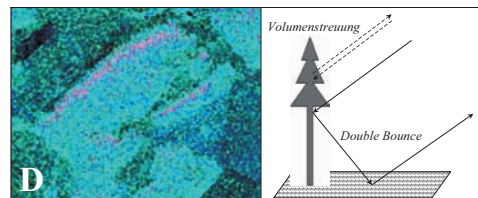


Abb. 7: Multiple Rückstreupfade am Beispiel einer Waldkante.



Abb. 8: Multiple Rückstreupfade am Beispiel eines Steinbruchs.

Die Nordwand wird nicht von der Radarstrahlung erreicht und erzeugt somit kein Rückstreusignal. Sie liegt im Radarschatten. Die Südwand hingegen wird direkt beleuchtet. Dies führt zu einem sehr hohen Rückstreusignal. Dieses setzt sich aus Oberflächenstreuung direkt von der Wand und aus Doppelreflexion mit den Rückstreupfaden Wand-Sohle und Sohle-Wand zusammen. Die Strecken der Rückstreupfade der Doppelreflexion übersteigen jene der direkten Oberflächenstreuung (vgl. 3.4.1). Im SAR-Bild ist dieser Rückstreuteil daher in *Range*-Richtung verschoben.

3.6 Phasenrauschen

Im Falle vollständigen Phasenrauschens liegt keine nutzbare Phaseninformation vor. Dies betrifft die Auswertung der polarimetrischen als auch der interferometrischen Phase. Vollständiges Phasenrauschen tritt in erster Linie für Wasserflächen (ohne Wind Einfluss) auf. Sie sind durch eine glatte Oberfläche und einer sehr hohen Dielektrizitätskonstante gekennzeichnet. In diesem Fall wird der Großteil der einfallenden Mikrowellenstrahlung vom Sensor weg reflektiert, der gemessene Phasenverlauf beinhaltet lediglich Systemrauschen.

Bei Bildbereich F (Abb. 9) handelt es sich um einen Abschnitt der Talsperre Zeulenroda. Der Ost-West verlaufende Damm unterteilt die Wasserfläche in Vorsperre und Hauptgewässer. In der RGB-Komposite der Intensitäten (links) ist die Wasserfläche aufgrund der geringen Rückstreuintensität durch sehr dunkle Farbschattierungen erkennbar. Abb. 9 (rechts) präsentiert den mittleren Rückstreumechanismus (α) für

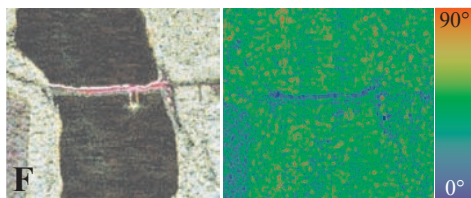


Abb. 9: Phasenrauschen am Beispiel einer Wasserfläche; links: Amplitudenbild, rechts: (α).

denselben Bildausschnitt. Obwohl hier mit Sicherheit Oberflächenstreuung stattfindet, wurden mittlere Werte für Alpha (Volumenstreuung) berechnet. Die Wasseroberfläche ist von den angrenzenden Waldgebieten daher kaum zu differenzieren. Lediglich der Damm tritt durch Oberflächenstreuung hervor. Demnach sind SAR-Parameter, die auf der Auswertung der polarimetrischen Phase beruhen, für Areale sehr geringer Rückstreuung nicht interpretierbar.

Zwar tritt Phasenrauschen vor allem bei Wasserflächen auf. Dennoch ist dieser Effekt (insbesondere in *Far Range*) auch bei anderen glatten Oberflächen wie Straßen, befestigten Plätzen oder glatten, unbestandenen Ackerflächen zu beobachten.

4 Fazit

Die hohe geometrische Auflösung moderner flugzeuggetragener SAR-Sensoren hat zur Folge, dass eine Reihe spezieller Rückstreueffekte an kleinräumigen Objekten sichtbar wird. Deren Interpretation auf alleiniger Basis der Amplitudenbilder ist in den meisten Fällen nicht uneingeschränkt möglich.

Die Ansätze der Polarimetrie erlauben eine direkte Darstellung der stattfindenden Streuprozesse. Die Interpretation SAR-immanenter Spezialfälle der Radarrückstreuung wird durch polarimetrische Verfahren deutlich erleichtert. Dennoch gilt es, mögliche Verfälschungen der polarimetrischen Information durch Phasenrauschen zu berücksichtigen.

Dieser Artikel ist als beispielorientierte Zusammenfassung der besprochenen Thematik zu sehen. Aktuelle Auswerteverfah-

ren polarimetrischer und interferometrischer Daten wie beispielsweise die SAR-Tomographie (REIGBER 2001) befassen sich eingehender mit der Untersuchung stattfindender Streuprozesse. Stellvertretend wird hier auf die Arbeiten von YUEH et al. (1988), BOERNER & PAPATHANASSIOU (1998), AINSWORTH et al. (1999), PAPATHANASSIOU et al. (1999), REIGBER et al. (2001) und FERRO-FAMIL et al. (2003) verwiesen.

Danksagung

Der vorliegende Beitrag entstand am Lehrstuhl für Geoinformatik des Institutes für Geographie an der Friedrich-Schiller-Universität Jena. Ein Teil der durchgeführten Untersuchungen erfolgte im Rahmen der Projektaufgaben des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Projektes PHYMO (Parametrisierung Hydrologischer Modelle mit multifrequenten, multipolarimetrischen und interferometrischen Flugzeug-SAR-Daten, DFG-GZ: HO 1840/5-1 & HO 1840/5-2).

Literatur

- AINSWORTH, T.L., JANSEN, R.W., LEE, J.S. & FIEDLER, R., 1999: Sub-aperture analysis of high resolution polarimetric SAR data. – Proc. IGARSS, pp. 41–43.
- BOERNER, T. & PAPATHANASSIOU, K.P., 1998: A Model-Based Analysis of Surface Scattering Effects in Polarimetric SAR Interferometry. – Proc. EUSAR'98, Friedrichshafen, pp. 61–64.
- CLOUDE, S.R. & POTTIER, E., 1996: A Review of Target Decomposition Theorems in Polarimetry. – IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing **34** (2): 498–518.
- FERRO-FAMIL, L., REIGBER, A., POTTIER, E. & BOERNER, W.-M., 2003: Scene Characterization Using Subaperture Polarimetric SAR Data. – IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing **41** (10): 2264–2276.
- LEWIS A.J., 1998: Geomorphic and Hydrologic Applications of Active Microwave Remote Sensing. – In: HENDERSON, F.M. & LEWIS, A.J. (eds.) (1998): Principles and applications of imaging radar. – 3rd ed., Wiley, New York.
- PAPATHANASSIOU, K.P., 1999: Polarimetric SAR Interferometry. – DLR, Forschungsbericht 7.
- RANEY, R.K., 1998: Radar Fundamentals: Technical Perspective. – In: HENDERSON, F.M. & LEWIS, A.J. (eds.) (1998): Principles and applications of imaging radar. – 3rd ed., Wiley, New York.
- REIGBER, A., 2001: Polarimetric SAR Tomography. – Ph.D. Thesis, Univ. Stuttgart, Germany.
- THIEL, C., 2004: Extrahierung hydrologisch relevanter Parameter aus hochaufgelösten polarimetrischen L-Band sowie interferometrischen X-Band SAR-Daten. – Dissertation, Friedrich-Schiller-Univ. Jena.
- YUEH, H.A., SHIN, R.T., & KONG, J.A. 1988: Scattering from randomly perturbed periodic and quasiperiodic surfaces. – Progress in Electromagnetic Research **1**: 297–358, Elsevier, Amsterdam.

Anschrift des Verfassers

Dr. rer. nat. CHRISTIAN THIEL
Friedrich-Schiller-Universität Jena
Institut für Geographie
Löbdergraben 32, 07743 Jena
Tel.: 03641-948856, Fax: 03641/948852
e-mail: c5thch@web.de

Manuskript eingereicht: April 2004
Angenommen: Juli 2004

Berichte

41. Sitzung der Arbeitsgruppe (AgA) *Automation in der Kartographie* am 21./22.9.2004 in Hamburg

Auch die „AgA 2004“ war wieder Anziehungspunkt für zahlreiche Teilnehmer aus Universitäten, Industrie, Verwaltung und Bundeswehr. Diesmal traf man sich auf Einladung des *Landesbetriebs Geoinformation und Vermessung Hamburg (LGV)* im Haus der fünf vereinigten Hamburger Logen.

Nach einleitenden Worten der Vorsitzenden der Arbeitsgruppe, Prof. Dr. MONIKA SESTER, begrüßte zunächst der Gastgeber, Dipl.-Ing. HAGEN GRAEFF, Direktor des LGV und Präsident des DVW, die Gäste. Anschließend gab HANS-JÖRG PREHN vom LGV, der Organisator vor Ort, einen kurzen Überblick über den geplanten Tagungsverlauf. Danach wurde mit einer Diskussion der Tätigkeitsberichte der teilnehmenden Behörden und Institutionen begonnen. Diskussionsschwerpunkte waren u.a. die unterschiedlichen Lösungsansätze zum DLM50 und die Verfügbarkeit genauer Hausadressen. Zur Bereitstellung der exakten Hauskoordinaten haben sich die Länder Bayern, Bremen, Hamburg, Hessen, Niedersachsen, Rheinland-Pfalz und Nordrhein-Westfalen zusammengeschlossen und nutzen als Datengrundlage ihr Liegenschaftskataster. Den Vertrieb der Hauskoordinaten der am „House Pool“ beteiligten Länder übernimmt das Land NRW.

Bei den anschließenden Kurzberichten über Neuentwicklungen aus dem Firmenbereich nahmen vier Firmen die Gelegenheit zur Präsentation wahr (ESRI Geoinformatik GmbH, AED-SICAD, CPA Geo-Information, Z/I Imaging). Neben neuen Produktinformationen konnte PETER LADSTÄTTER von ESRI positiv berichten, dass trotz der allgemein schwachen Konjunktur in Deutschland seine Firma einen erheblichen Umsatzzuwachs verzeichnen konnte. Dies zeigt den allgemeinen Bedarf an Geodaten und entsprechenden Tools zu ihrer Verwal-

tung und macht Mut für eine weitere positive Entwicklung des gesamten Geoinformationsmarkts.

Die folgenden Kurzreferate waren alphabetisch nach den Namen der Vortragenden sortiert. Dies führte zu einer sehr abwechslungsreichen Vortragsreihe, wobei alle 20 Vorträge von ihren Autoren sehr ansprechend präsentiert wurden. Trotz der großen Spannbreite an vorgetragenen Themen kristallisierten sich doch im Laufe der zwei Sitzungstage einige Stichworte heraus, die immer wieder von den Vortragenden aufgegriffen wurden.

Einen Schwerpunkt bildete **3D-Modellierung** in verschiedensten Variationen. ANDREAS MÜLLER präsentierte ein virtuelles Landschaftsmodell des Landesgartenschau-geländes auf dem Petrisberg in Trier mit multitemporalen Bezügen (Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft des Geländes). 3D Stadtmodelle wurden sowohl von KATHARINA JÜLGE (Modell der Stadt Hannover) als auch BEREND DÖHLE (Modelle von Hamburg) vorgestellt. Letzterer ging nicht nur auf die Stadtmodelle sondern auch auf das Geländemodell der Stadt ein. Geländemodelle sind auch für KONRAD EDER wichtige Datengrundlage für seine Untersuchungen an Gletschern, weshalb er sich in seinem Beitrag auf die Vor- und Nachteile der Erstellung von DEMs mit Luftbildern und Lasersdaten konzentrierte und zu dem Schluss kam, dass beide Verfahren gleichermaßen Vor- und Nachteile aufweisen und er im Prinzip die kombinierte Nutzung beider Informationsquellen vorschlägt. Als weitere Möglichkeit stellte DETLEV KOSMANN aus Radardaten generierte Modelle vor, die das DFD nun speziell nach der Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) praktisch global flächendeckend anbieten kann.

Der **Schriftplatzierung** in 3D-Räumen aber auch in 2D widmeten sich zwei Vorträge. THOMAS KOLBE nutzt sie in Wegevideos, die als „augmented video“ Fußgänger bei der Navigation unterstützen sollen. JOHANN

ZAHN berichtete von der Digitalen Ortskarte Bayern, die wesentlich detailreicher ist als übliche digitale Karten, die im Internet bereitgestellt wird, und für die er ein Verfahren entwickelte, um die Straßennamen automatisch optimal zu platzieren.

Wie nicht nur an diesen beiden Vorträgen deutlich wurde, werden selbstverständlich in Karten sehr oft Text-Elemente eingesetzt, was die direkte Verbindung zu einem Beitrag der nächsten Gruppe von Vorträgen, der **Generalisierung/Abstraktion/Mehrfachrepräsentationen**, darstellt. MARINA MÜLLER untersucht die Verknüpfungen zwischen textförmigen und graphischen Beschreibungen von Geoinformationen am Beispiel des brasilianischen Katasters und Meldungen im Disaster-Management. Die Relationen zwischen Text und Karte und ihren Abstraktionsniveaus soll explizit gemacht werden, um beide Informationsquellen bestmöglich nutzen zu können. Relationen zwischen unterschiedlichen Repräsentationen waren auch der Themenschwerpunkt beim Vortrag von STEFFEN VOLZ, der sich im *Projekt Nexus* auf die Analyse graphischer Mehrfachrepräsentation konzentriert, um die gemeinsame Verwaltung und Nutzung unterschiedlicher Datenquellen zu ermöglichen. Dies ist auch das Ziel bei JAN-HENRIK HAUNERT, der bei Multiresolution Datenbanken die Verwendung unterschiedlicher Geometriertypen für gleiche Objekte als Problem erkennt. Als Lösungsansatz stellte er ein Verfahren zur Generalisierung vor, das die notwendigen Transformationen unterstützt. Generalisierung war auch der Schwerpunkt beim Vortrag von MATTHIAS BOBZIEN, der das Projekt DRIVE mit dem Ziel des „Generalisierungsprodukts der nächsten Generation“ vorstellte, und auch von FRANK THIEMANN, der wiederum das Thema 3D aufgriff und einen Ansatz zur 3D Gebäudegeneralisierung mittels Segmentierung vorstellte.

Weitere Schlagworte waren **GDI-DE/Geomapserver/Geodatenportale**. Der Aufbau der Geodatenstruktur Deutschlands wurde zum einen von NICOLE RUHE für das GDI-Schleswig-Holstein und zum anderen von RONALD MORDHORST vorgestellt, der auf das GDI der Metropolregion Hamburg

inging. Dort einigten sich gleich drei Bundesländer – Schleswig-Holstein, Hamburg, Niedersachsen – auf eine gemeinsame Vorgehensweise für diesen Großraum. Als Beispiel zur Bereitstellung von Geodaten in anderen europäischen Ländern präsentierte ERICH WILMERSDORF die Webservices der Stadt Wien. Im Zusammenhang mit Webservices ist PETER LADSTÄTTER in seinem Vortrag auf „embedded GIS“ eingegangen, das den Anwendern mehr an GIS Funktionalitäten zur Verfügung stellt als übliche Web Map Services, aber speziell für Anwender vorgesehen ist, die keine GIS-Experten sind und sich nicht lange in ein GIS-Tool einarbeiten möchten.

Schließlich beschäftigten sich zahlreiche Vorträge mit dem xml-basierten Format SVG (Scalable Vector Graphics) bzw. nutzten dieses Format in ihren Anwendungen. Grundlegendes zur Vektordatenausgabe und Umsetzung von Signaturenkatalogen in SVG wurde in den Vorträgen von GERALD GRAF und KARL NEUMANN vorgestellt. IRIS WIEBROCK verglich SVG mit Active CGM und stellte fest, dass prinzipiell mehr Vorteile für die Nutzung von SVG mit integrierten JavaScripten sprechen, solange keine Datenschutzaspekte berücksichtigt werden müssen. Als praktische Anwendung nutzt BIRGIT ELIAS SVG zur Darstellung von Karten auf PDAs bei der Fahrradnavigation.

Eine detaillierte Aufstellung der Autoren mit ihren Zugehörigkeiten zu Ämtern, Instituten und Firmen sowie die einzelnen Vorträge im PDF-Format findet man auch diesmal auf den AgA-Seiten im Internet: <http://www.ikg.uni-hannover.de/aga/>. Die schriftlichen Ausarbeitungen werden wieder in der Schriftenreihe „Mitteilungen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie“ veröffentlicht. Die Beiträge der AgA 2003 erscheinen ebenfalls in Kürze in dieser Reihe.

Auch der Abschluss der Tagung am zweiten Nachmittag brachte mit dem Besuch des Landesbetriebs Geoinformation und Vermessung noch einige Highlights mit vertiefenden Vorträgen der Mitarbeiter über den LGV an sich, die digitalen Höhenmodelle, die beim Landesbetrieb existieren, und die Intra- und Internetdienste des LGV. Bei der

anschließenden Führung durch das Haus konnte man sich vom Kundenservice des LGV überzeugen und den Weg der Kartenproduktion nachvollziehen. Sowohl die technische Ausstattung zur Mediengestaltung und zum Druck als auch die Ausbildungsmöglichkeiten des Landesbetriebs wurden von den Teilnehmern der Führung mit großem Interesse begutachtet.

Zusammenfassend waren die zwei Tage in Hamburg angefüllt mit einem interessanten Programm, das einen großen Bogen über die unterschiedlichen Arbeiten und Neuigkeiten im Bereich der Kartographie spannte. Ein großer Dank gebührt Herr PREHN für die hervorragende Organisation vor Ort und die herzliche Betreuung, da er u.a. selbst bei stürmisch-regnerischem Wetter die Teilnehmer als Fremdenführer für die schönen Seiten Hamburgs begeistern konnte. Ein herzlicher Dank auch an die Verantwortlichen beim BKG, speziell Dr. JOACHIM BOBRICH und Frau GUDRUN GÜNTER, für die Organisation im Vorfeld und die Nachbereitung in Form der Veröffentlichung der schriftlichen Beiträge. Anzumerken bleibt, dass die nächste AgA-Sitzung am 12. und 13. September 2005 in Wien stattfinden wird, im Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen.

MARINA MÜLLER, Karlsruhe



13. bis 15. Oktober 2004 in Stuttgart

In diesem Jahr stand die Großveranstaltung der Geodäten und Kartographen unter dem Motto

Für mobile Menschen.

Die INTERGEO 2004 umfasste den Jahreskongress des DVW, Deutscher Verein für Vermessungswesen e.V. – Gesellschaft für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement, den 52. Deutschen Kartographen-

tag der Deutschen Gesellschaft für Kartographie e.V., DGfK und eine große Fachmesse für Geräte, Software, Materialien, Produkte, Dienstleistungen und Druckerzeugnisse. Allein diese größte Ausstellung auf dem Gebiet Vermessungswesen in der Welt mit 470 Ausstellern auf 9800 m² Brutto-Ausstellungsfläche zog etwa 16500 Besucher an. Die Aussteller kamen aus 23 Ländern Europas, Asiens und Amerikas.

Eröffnet wurde die INTERGEO 2004 im Messe und Kongress-Zentrum Stuttgart auf dem Killesberg durch PETER SCHOLL, Kongressdirektor und Leiter des Örtlichen Vorbereitungsausschusses. Er hob hervor, dass Stuttgart ein Zentrum des Automobilbaus in Süddeutschland ist. Und daraus ergibt sich, dass hier viele Aktivitäten in Wissenschaft, Technik und Wirtschaft mit dem Automobilbau verbunden sind und dadurch mit „Mobilität“.

PETER SCHOLL erinnerte auch daran, dass der 1. Deutsche Geodätentag 1872 in Eisenach veranstaltet wurde. Im Jahre 1994 gab es in Mainz den 78. und letzten Deutschen Geodätentag. Die Veranstaltung hatte sich so vielfältig entwickelt und internationalisiert, dass sie ab 1995 in Dortmund als „INTERGEO Kongress und Fachmesse“ weitergeführt wurde. Zum Kongress in Stuttgart 2004 wurden ca. 1700 Teilnehmer erwartet. Waren es in Dortmund 1995 noch 6% ausländische Aussteller, so sind es 2004 schon 20%.

In seiner Begrüßungsrede würdigte der Präsident des DVW, Dipl.-Ing. HAGEN GRAEFF, die gute Vorbereitung der Konferenz und die hervorragende Beteiligung. „Auf der 10. INTERGEO kann heute festgestellt werden, dass sich Politik, Wirtschaft und Wissenschaft schnell verändern. Wir Geodäten müssen uns dem anpassen. Neue Ausbildungsstrukturen hin zum ‚Master‘ und ‚Bachelor‘, das europäische Galileo-Projekt und viele andere Neuerungen, die auf der Ausstellung zu sehen sind, ermöglichen bzw. erfordern eine Umstellung in unserem Denken und Handeln“.

Auch im Jahr 2005 wird es wieder eine INTERGEO EAST geben. Und zwar wird vom 7. bis 9. März 2005 eine *Zagreb Fair*

and Conference veranstaltet (www.intergeo-east.com).

Vom 12. bis 15.10. 2004 bot die *Geodätische Woche* einen Überblick über die Aktivitäten an den geodätischen Universitäts- und Forschungsinstituten. Aktuelle Themen waren die Satellitensysteme GPS, GNSS und GALILEO sowie die neuen Schwerefeldmissionen GRACE, CHAMP und GOCE.

Erstmalig fand am 14.10. ein *EU-Day* statt, eine Sonderveranstaltung von EURO-GI (Eurorean Umbrella Organisation for Geographic Information), DVW und DDGI (Deutscher Dachverband für Geoinformation). Schlüsselthemen waren die wirtschaftliche Bedeutung von Geodaten und ihr Einsatz für die Aufgaben und politischen Aktivitäten der Europäischen Union.

Die zweite Begrüßungsrede hielt Dr. PETER ASCHENBERNER, Präsident der DGfK. Er eröffnete den in diesem Jahr parallel zur INTERGEO veranstalteten 52. *Deutschen Kartographentag*. Das Motto des Kartographentages

Kernkompetenzen der Kartographie

soll auf die gegenwärtigen Schwerpunkte hinweisen, nämlich *Visualisierung und Generalisierung von Informationen*. Aktuelle Aufgaben sind Herstellung und Vermarktung von Geodaten, Geodateneinsatz im Dienste von Umwelt und Verkehr. Auch der rechtliche Schutz von Geodaten in Europa ist ein zentrales Thema. Zur Sprache kommen auch die Wechselwirkung zwischen Kartographie und Geographie im Unterricht.

Dr. ASCHENBERNER hob hervor, dass sich gegenwärtig die Geowissenschaften auf einander zu bewegen. Die früher einmal vorhandene klassische Abgrenzung voneinander ist nicht mehr da.

Den *Festvortrag* zur Eröffnung der INTERGEO 2004 mit dem Thema

Brückenbau – Lust an der Konstruktion

hielt der emeritierte Prof. Dr.-Ing. Drs. h.c. JÖRG SCHLAICH. Nach dem Ausscheiden aus dem Hochschuldienst an der Universität

Stuttgart ist Prof. SCHLAICH Geschäftsführer der Schlaich Bergmann und Partner Konstruktions- und Baufirma. Und, wie er ausführte, kämpft er mit seiner Arbeit als Konstrukteur und Baumeister von Brücken, Türmen, Dächern und Sonnenkraftwerken gegen Hässlichkeit, aber auch gegen Umweltprobleme und gegen die Armut in der Dritten Welt. Die mehr als 1000 Zuhörer in der großen Festhalle des Messe-Kongress-Zentrums Stuttgart lauschten fasziniert den emotionsgeladenen sozialkritischen Ausführungen des Redners, wenn er u.a. sagte: »Unsere Erde trudelt führungslos dahin, ohne dass die UNO oder die reichen und mächtigen Staaten etwas tun, um die wirklichen sozialen Probleme zu lösen. Die Politiker interessieren sich offenbar und vorwiegend für solche banalen Dinge wie Zahnersatz und Dosenpfand.

Notwendig wäre, die Kluft zwischen Arm und Reich zu verringern. 1 Mia. Menschen hungern auf dieser Erde. 2,4 Mia. Menschen sind mit „Holzsammeln“ beschäftigt, weil sie keine andere Energie zum Kochen haben. Die Solarenergie zu nutzen, ist der einzige Ausweg aus dem Dilemma. Denn die meisten armen Menschen leben in Afrika und Südasien, in Gebieten mit starker Sonneneinstrahlung.

Von den drei bekannten Solartechnologien kommen in den genannten Gebieten nur die Aufwind-Kraftwerke in Frage. Die „Central Receiver Systems“ mit den bei uns genutzten Solarzellen sind zu teuer. Das gleiche gilt für die zweite Technologie der „Rinnen-Kraftwerke“ mit zylindrischen Empfängern.

Erfolg versprechend ist nur die von SCHLAICH konzipierte bzw. entwickelte und erprobte „Aufwind-Technologie“. Dabei werden horizontale Sonnenkollektoren (Glasscheiben) von 10 m, 100 m oder mehr Durchmesser mit billigen Materialien gebaut. In einem darunter angeordneten Rohrsystem wird Wasser auf 70–80°C erhitzt. Unter den Kollektoren wird die erhitzte Luft ins Zentrum des Kollektors geleitet, wo sie in einem Turm von bis zu 1000 m Höhe hoch steigt und dabei Turbogeneratoren zur Stromerzeugung antreibt. Ein Prototyp

wurde in Spanien gebaut und erfolgreich erprobt.

Dabei betragen die Kosten für die Glasdächer 60 %, für den Turm 30 % und für die Turbinen 10 %. Solch ein Kraftwerk hat eine Lebensdauer von 100 bis 200 Jahren. Gegenüber Windrädern ist die Effektivität $10 \times$ höher«.

Wenn die Politik ihre Verantwortung wahrnehmen würde, so Prof. SCHLAICH, dann könnten die Probleme der Armut der Menschen in der Dritten Welt mittels Solartechnologie am besten und am schnellsten gelöst werden und zwar fast vollständig mit Arbeitskräften und Materialien, die dort vorhanden sind.

Die INTERGEO 2004 war ein voller Erfolg. Beide Bestandteile – Fachmesse und Kongress – waren wirksam miteinander verzahnt und haben sich gegenseitig stimuliert. Fachmesse und Kongress waren so gut be-

sucht wie noch nie in der 10-jährigen Geschichte der INTERGEO.

Ein Garant für den Erfolg ist nach Meinung von OLAF FREIER, Projektleiter und Geschäftsführer der HINTE GmbH, das „INTERGEO-Wanderkonzept“. Diese Erkenntnis basiert auch auf einer neuen Besucherbefragung und es wird beibehalten.

Die INTERGEO 2005 wird vom 4. bis 6. Oktober in Düsseldorf veranstaltet (www.intergeo.de).

Wesentlich weiter in die Zukunft reicht bereits die Planung zwischen INTERGEO-Veranstalter DVW e.V. und Fachmesse-Organisator HINTE GmbH, die ihre langjährige und erfolgreiche Zusammenarbeit im Rahmen der Jubiläumsveranstaltung mit der Vertragsverlängerung bis zum Jahr 2011 bekräftigt haben.

KLAUS SZANGOLIES, Jena

Vorankündigungen

2005

20.–26. Februar: **13. Internationale Geodätische Woche in Oberurgl**, Tirol, Österreich. Auskünfte durch: Leopold-Franzens-Universität Innsbruck, Institut für Geodäsie, Prof. Dr. Günter Chesi, Tel.: +43-512-507 6757 oder 6755, Fax: +43-512-507 2910, e-mail: geodaetischewoche@uibk.ac.at http://geodaesie.uibk.ac.at/geod_wo.html

24./25. Februar: **2nd Panoramic Photogrammetry Workshop in Berlin**. Auskünfte durch: Prof. Dr. Ralf Reulke, Humboldt-Universität zu Berlin, Institut für Informatik, Computer Vision, Unter den Linden 6, D-10099 Berlin, Tel.: +49-30-2093 3044, Fax: +49-30-2093 3045, e-mail: reulke@informatik.hu-berlin.de, e-mail: Ralf.Reulke@dlr.de, www.informatik.hu-berlin.de/sv/pr/PanoramicPhotogrammetryWorkshop2005/

24.–26. Februar: **Von Handaufmaß bis High Tech – II**, Interdisziplinäres Kolloquium in **Cottbus**. Auskünfte durch: Lehrstuhl für Baugeschichte, Lehrstuhl für Vermessungskunde, Fakultät 2; Brandenburgische Technische Universität Cottbus, PF 101344, 03013 Cottbus. Tel.: 0355-69 3117, Fax: 0355-69 2984, e-mail: handhigh@tu-cottbus.de, www.tu-cottbus.de/handhigh.

2.–4. März: **10. Münchner 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

7.–9. März: **INTERGEO EAST** – Zagreb Fair in **Zagreb**, Kroatien. Auskünfte durch: DVW und HINTE-Messen, www.intergeo-east.com

7.–11. März: **Fundamentals of Economics and Management of APRS Organizations** im Institut de Geomàtica **Barcelona**. Dieser Vortragsblock ist ein Modul von insgesamt neun einer Vorlesungsreihe zur Erlangung des Grades eines „M.Sc.“ in Airborne Photogrammetry and Remote Sensing (APRS). Referenten: Prof. Ralf Schroth, D und Iwona Maciejewska, SA. Auskünfte durch: Ms. Lidia Gargallo, info@ideg.es, Institute of Geomatics, Campus de Castelldefels, Av.del Canal Olímpic, s/n E-08860 Castelldefels, Spain.

7.–11. März: **ASPRS 2005 Annual Conference in Baltimore**, USA. Auskünfte durch: ASPRS, Tel.: +1-301-4930290, Fax: +1-301-4930208, e-mail: asprs@asprs.org, www.asprs.org/baltimore2005/index.html, www.asprs.org/asprs/meetings/calendar.html

7.–11. März: **ISPRS WG IV/4 Workshop on Landscape Modeling & Visualization in Baltimore**, USA. Auskünfte durch Dr. Jochen Schiewe, Tel.: +49-4441-15558, Fax: +49-4441-15583, e-mail: jschiewe@fzg.uni-vechta.de, www.crms.uga.edu/wg_iv6/

14.–16. März: Joint Conference on **Remote Sensing of Urban Areas (URS 2005) and Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas (URBAN 2005) in Tempe**, AR, USA. Auskünfte durch: Dr. Matthias S. Moeller, Geoinformatics & Remote Sensing Center for Environmental Studies, Arizona State University, Box 873211, Tempe, AZ 85287-3211, Tel.: 001-480-9650987, mail-to: Matthias.moeller@asu.edu; Charles L. Redman, e-mail: charles.redman@asu.edu; <http://www.urban-remote-sensing.org>

21.–23. März: **ISPRS WG IV/8. The First International Symposium on Geo-Information for Disaster Management in Delft**, Niederlande. Auskünfte durch: Mrs. Elfriede

M. Fendel, Tel.: +31-15-278 4548, e-mail: E.Fendel@otb.tudelft.nl oder: Dr. S. Zlatanovna, e-mail: S.Zlatanovna@otb.tudelft.nl, www.gdmc.nl/gi4dm/

28.–31. März: **4th International Symposium on Digital Earth in Tokyo**. Auskünfte durch: Keio University, Geoinformatics Laboratory, Dr. Hiromichi Fukui, ISDE-Japan secretariat, e-mail: secretariat@isde-j.com, www.isde-j.com

5.–9. April: International Workshop on **Geographic Hypermedia Concepts and Systems** in parallel with the **Annual Meeting of the Association of American Geographers in Denver**, CO, USA. Auskünfte durch: Dr. Emmanuel Stefanakis, Tel.: +30-210-9549162, Fax: +30-210-9514759, e-mail: estef@hua.gr, www.dbnet.ece.ntua.gr/~stefanak/GeoHypermedia/www.aag.org/annualmeetings/index.cfm

16.–21. April: **FIG Working Week 2005 and XXVIII General Assembly in Cairo**. Auskünfte durch: FIG Office, Tel.: +45-38-861081, Fax: +45-38-860252, e-mail: fig@fig.net, www.fig.net/cairo/

27.–29. April: **Geo-Siberia in Novosibirsk**, Russland. 1st International Exhibition of Geodesy, Cartography, Geology, Geoinformation Systems, Environment Analysis and Instrument Engineering. Co-organizer: Siberian State Academy of Geodesy. Auskünfte durch: Project Manager Ljubov Nenashva. Tel.: +7-3832-106290, Fax: +7-3832-259 845, e-mail: nenash@sibfair.ru, www.sibfair.ru

17.–20. Mai: **ISPRS Comm I & IV Workshop 2005 High-Resolution Earth Imaging for Geospatial Information in Hannover**. Auskünfte durch: Frau Gesine Boettcher, Universität Hannover (IPI), Tel.: +49-511-7622482, Fax: +49-511-7622483, e-mail: boettcher@ipi.uni-hannover.de, www.ipi.uni-hannover.de/ISPRS_workshop_05.htm

25.–27. Mai: 1st International Symposium on **Cloud-prone and Rainy Areas Remote**

Sensing (CARRS2005) in **HongKong**. Auskünfte durch: Ms. Chloris Yip, Tel.: +852-26096538, Fax: +852-26037470, e-mail: jlgis@cuhk.edu.hk, www.jlgis.cuhk.edu.hk/events/events/CARRS2005/

30. Mai–2. Juni: **GIS Planet 2005** in **Estoril**, Portugal. Auskünfte unter: www.gisplanet.org

2./3. Juni: Ausbildungs-Tagung des **DDGI: Innovationen in Aus- und Weiterbildung GIS** unter Mitwirkung der DGPF u.a. in **Potsdam**. Auskünfte durch: PD Dr.-Ing. habil. Jochen Schiewe, e-mail: schiewe@ikg.uni-bonn.de

6.–11. Juni: 25th **EARSeL Symposium Global Developments in Environmental Earth Observation from Space & 2 Workshops in Porto**, Portugal. Auskünfte durch EARSeL Secretariat, Tel.: +33-1-4556-7360, Fax: +33-1-4556-7361, e-mail: earsel@meteo.fr, www.fc.up.pt/earsel2005, www.las.physik.uni-oldenburg.de/workshop.html, www.ipi.uni-hannover.de/html/aktivitaeten/earsel.htm

9.–11. Juni: 2nd International Conference on **Recent Advances in Space Technologies** (RAST 2005) in **Istanbul**. Auskünfte durch: RAST Secretariat, Tel.: +90-212-6632490 ext.4360, Fax: +90-212-6628551, e-mail: rast2005@hho.edu.tr, www.hho.edu.tr/RAST2005

13.–17. Juni: 5th International Conference on **3-D Digital Imaging and Modelling** (3DIM2005) in **Ottawa**. Auskünfte durch: Guy Godin, Tel.: +1-613-991-6970, e-mail: 3DIMconf.@nrc-cnrc.gc.ca, www.3DIMconference.org

20.–24. Juni: 31th International Symposium on **Remote Sensing of Environment „Global Monitoring for Sustainability and Security“** in **Saint Petersburg**, Russland. Auskünfte durch: Catherine Mironova, 31st ISRSE Coordinator, Nansen International Environmental and Remote Sensing Centre (NIERSC), 197101 Saint Petersburg, e-

mail: 31_ISRSE@niersc.spb.ru, Fax: +7-812-234 38 65, www.niersc.spb.ru/isrse/index.shtml

21.–22. Juni: **Internationaler Workshop »Next Generation 3D City Models«** an der Universität **Bonn**, gemeinsam veranstaltet mit dem Arbeitskreis GIS der DGPF und dem EuroSDR. Auskünfte unter http://www.ikg.uni-bonn.de/NextGen3dCity/

23.–25. Juni: **Geomatiktage 2005** in **Basel**. Auskünfte durch: SGPBF, www.igs-gfsvvk.ch/d/oeffentlichkeit/veranstaltungen/findex.html

26. Juni–1. Juli: Sommerakademie **Naturgefahren und Katastrophen – Management** des Center for Disaster Management and Risk Reduction Technology (CEDIM) in **Karlsruhe/Bad Herrenalb**. Auskünfte durch: Universität Karlsruhe (TH), CEDIM-Geschäftsstelle, 76128 Karlsruhe, Dr. Christiane Lechtenböcker, Tel.: 0721-608-2274/-3887, Fax: 0721-608-2265, www.cedim.de

6.–8. Juli: **AGIT 2005** – Symposium und Fachmesse für Angewandte **Geoinformatik** in **Salzburg**. Auskünfte: http://www.agit.at/

8.–10. Juli: **ISPRS IC WG II/IV** und 6th Joint **ICA/ ISPRS/ EuroGeographics Workshop on Incremental Updating & Versioning of Spatial Data Bases** in **A Coruña**, Spanien. Auskünfte durch: Dr. Ammatzia Peled, Co-chair IC WG II/IV, Tel.: +972-4-8-240-148, Fax: +972-4-8-249-605, e-mail: peled@geo.haifa.ac.il; www.geo.haifa.ac.il/~icaupdt/meetings/meetings.htm

9.–16. Juli: **XXII ICA International Cartographic Conference** in **La Coruña**, Spanien. Auskünfte durch: Global Congresos, Tel.: +34-981-208 990, Fax: +34-981-208 701, e-mail: secretary@icc2005.org, www.icc2005.org/html-eng/english.html

25.–29. Juli: **IEEE/IGARSS 2005** in **Seoul**, Korea. Auskünfte durch: IEEE Conference Services, e-mail: conference-services@ieee

und e-mail: info@igarss05.org, www.igarss05.org, <http://ewh.ieee.org/soc/grss/igarss.htm>

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

29./30. August: **ISPRS WG III/4, WG III/5**, Vienna University of Technology, Technical University of Munich and DAGM Joint Workshop „**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

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

5.–9. September: **Photogrammetrische Woche 2005** in **Stuttgart**. Auskünfte: www.ifp.uni-stuttgart.de/aktuelles/veranstaltungen.html

6.–9. September: **RSPSoc 2005 Annual Conference** in **Portsmouth** University. Auskünfte durch: Richard Teeuw, e-mail: richard.teeuw@port.ac.uk oder rpsoc@nottingham.ac.uk, <http://www.rpsoc.org/calendar>

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, III/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/laserscanning2005

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.de, www.auf.uni-rostock.de/gg

26.–30. September: **CIPA 2005**, XX International Symposium **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>

3.–5. Oktober: 7th International Conference on **Optical 3-D Measurement Techniques** in **Wien**. Auskünfte durch: Conference secretary, e-mail: conf@pop.tuwien.ac.at, www.info.tuwien.ac.at/ingeo/optical3d/o3d.htm

4.–6. Oktober: **INTERGEO 2005** in **Düsseldorf**. Auskünfte durch e-mail: intergeo2005@stadt.duesseldorf.de, www.dvw.de, www.intergeo2004.de und www.hinte-messe.de

14.–16. Oktober: **ISPRS WG IV/1, IV/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.isprswg41.nsd.gov.cn

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. 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

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

15.–20. Oktober: **FIG-Kongress in München**. Auskünfte durch: FIG Office, Tel.: +45-38-861081, Fax: +45-38-860252, e-mail: fig@fig.net



ÉCOLE POLYTECHNIQUE
FÉDÉRALE DE LAUSANNE

Faculty Position in Environmental Remote Sensing

at Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL)

EPFL plans a substantial strengthening of its School of Architecture, Civil and Environmental Engineering (ENAC).

As part of this broad program, we anticipate a **tenure track assistant professor** position in the field of environmental remote sensing. We are seeking a highly qualified person with an interdisciplinary vision and an outstanding record of accomplishments. Specific skills are expected in physics of remote sensing, environmental and geographic image processing, spatial analysis and neighbouring fields.

The successful candidate will establish and lead a vigorous, independent research program, interact with existing projects and be committed to excellence in teaching at both the undergraduate and graduate levels.

Significant start-up resources and research infrastructure will be available. We offer internationally competitive salaries and benefits.

To apply, please follow the application procedure at <http://enac.epfl.ch/facultypositions>.

The following documents are requested in PDF format: motivation letter, curriculum vitae, publications list, concise statement of research and teaching interests as well as the names and addresses (including e-mail) of at least five referees. Screening will start on **April 1 st, 2005**. Further questions can be addressed to:

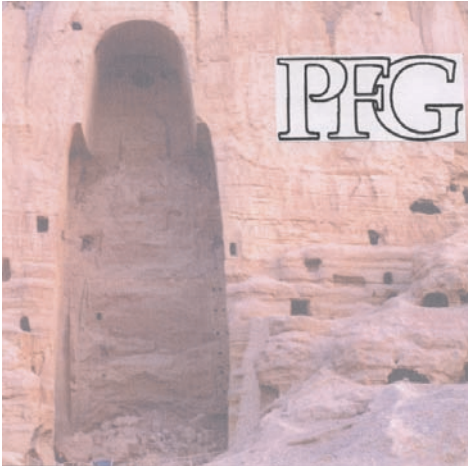
**Professor Laurent Vulliet, Dean
School of Architecture, Civil and Environmental
Engineering, EPFL
CH-1015 Lausanne
Switzerland**

For additional information on EPFL, please consult: <http://www.epfl.ch> or <http://enac.epfl.ch>

EPFL is an equal opportunity employer.

Zum Titelbild

Echt 3D-Visualisierung von Weltkulturerbe – The Great Buddha of Bamiyan



Copyright of Design and Production: Institute for Cartography, Dresden University of Technology, Germany. Copyright of Data Sources: Prof. Dr. Armin Grün, Institute of Geodesy and Photogrammetry, Federal Institute of Technology (ETH) Zurich, Switzerland and Prof. Dr. Robert Kostka, Graz, Austria.

Das Titelbild des Heftes 1/2005 der Zeitschrift PFG ermöglicht den unmittelbaren Vergleich von „flachen“ pseudo-dreidimensionalen und stereoskopischen „Echt-3D“-Darstellungen.

Im linken Teil des Titelbildes wurde eine bitemporale 3D-Darstellung der Statue des „Großen Buddha“ von Bamiyan in Afghanistan vor und nach ihrer Zerstörung im März 2001 auf das monoskopische Farbbild dieses Objektes aufgebracht. Das Bildprodukt nutzt die so genannte Lentikularlinsentechnik, welche auf der 3D-Modellierung von einem digitalen Geometriemodell und der dazugehörigen Bildtextur mittels einer virtuellen Kamera und dem anschließenden Druck auf eine Lentikularfolie beruht.

Die Ausgangsdaten wurden im Jahre 1970 und im Jahre 2003, jeweils vor und nach der Zerstörung der größten Buddha-Statue der Welt, des „Great Buddha of Bamiyan“, aufgenommen. Nach einer wissen-

schaftlichen Expedition in den afghanischen Hindukusch hat Prof. Dr. ROBERT KOSTKA von der Technischen Universität Graz die Daten mit dem heute historischen Phototheodolit TAF (Terrestrische Ausrüstung Finsterwalder) stereoskopisch aufgenommen und ausgewertet.

Im August 2003 wurden durch Prof. ARMIN GRÜN und FABIO REMONDINO von der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich neuerlich – diesmal mit digitalen Methoden – Stereoaufnahmen der gesprengten, und nahezu nicht mehr existierenden Buddha-Statue gemacht. Die Zweitauswertung des Bildsatzes von 1970 mit modernen digitalen Methoden sowie die Auswertung der jüngsten Aufnahmen lieferten exakte Geometrie-Modelle beider Szenen. Nähere Details hierzu sind in einem Artikel von ARMIN GRÜN in diesem Heft beschrieben (siehe Seite 57ff).

Sowohl diese Geometrie- als auch die Bild-Texturdaten dienen als Input für die Herstellung der bitemporalen Echt-3D-Visualisierung mittels Lentikularlinsentechnik. Nähere methodische Details darüber sind dem Artikel von BUCHROITHNER et al. in diesem Heft zu entnehmen (siehe Seite 47ff). Zum besseren Verständnis sei in knapper Form der Herstellungsgang umrissen.

Nach der Konsistenzprüfung von Geometriemodell und Farbtextur der Orthobilder wurden – simulierten Vorbeiflügen an der Felswand von Bamiyan gleich – jeweils fünf parallele Stereopartner vom ersten und vom zweiten Zeitpunkt durch eine synthetische Kamera generiert. Diese Stereobild-Datensätze wurden dann so angeordnet, dass man bei orthogonaler/zentraler Betrachtung die Buddha-Statue und bei leicht nach links oder rechts gedrehter Betrachtung die nahezu leere Felsnische sieht. Um eine spontane echt-dreidimensionale Perception unter den tunnelförmigen Mikrolinsen der Lentikularfolie zu gewährleisten, mussten die insgesamt zehn Bilder noch so verschachtelt werden („interlacing“), dass

unter jede dieser Lentikulare je ein Streifen von allen zehn Stereopartnern zu liegen kam. Diese im Bereich von weniger als 20 Mikrometern Breite liegenden Streifen wurden dann von einer diesbezüglich erfahrenen Druckerei mit einer speziellen UV-Drucktechnik spiegelverkehrt auf die Rückseite der Folie gedruckt. Abschließend wurde rückseitig eine dünne weiße Schutzlack-schicht aufgebracht.

Die bitemporale Buddha-Szene stellt nur ein Beispiel für die Einsatzmöglichkeiten dieser am Institut für Kartographie der Technischen Universität Dresden wissenschaftlich weiterentwickelten Technik dar. Letztere unterscheidet sich von den in der Werbung häufig eingesetzten Produkten durch die geometrisch und farblich hochgenaue maßstäbliche Wiedergabe der Objekte, die auch eine metrische Analyse der Darstellungen ermöglicht. Ihre Applikationsbereiche in den Natur-, Ingenieur- bzw. Umweltwissenschaften sind vielfältig. Hauptein-

satzgebiete liegen sicherlich in der Lehre, Planung (Visualisierung von Zukunftsszenarien, auch als kurze Animationssequenzen) und dem Outdoor-Tourismus. Ein nicht zu unterschätzender Vorteil bei der Integration von kartographischen Signaturen und Beschriftungen ist die Möglichkeit, diese gleichsam über dem Terrain schweben zu lassen und seitlich schräg noch auf die darunter liegende Oberfläche blicken zu können.

Die gegenständliche Darstellung stellt eine Art „Postkartenverkleinerung“ eines ursprünglich 21 cm × 42 cm großen „Echt-3D“-Posters dar. Derartige Lentikulardarstellungen können auch in Formaten von mehreren Quadratmeter Größe hergestellt werden. Nähere Informationen hierzu erhalten Sie von

MANFRED BUCHROITHNER, Dresden
e-mail: manfred.buchroithner@mailbox.tu-dresden.de

Katastrophen der Erdgeschichte



- globales Artensterben?

J. Pálffy. 2005, VI, 246 S., 69 Abb., 2 Tab.,
18 Photos, ISBN 3-510-65211-8 brosch. € 26.00

Katastrophen wie das Aussterben der Dinosaurier und anderer urzeitlicher Tiere und Pflanzen haben Wissenschaftler und das breite Publikum schon seit langem fasziniert.

Als im Jahr 1980 verkündete wurde, daß die Ursache für das Massensterben vor rund 65 Millionen Jahren der Einschlag eines Meteoriten oder Asteroiden sei, löste dies eine intensive wissenschaftliche Debatte aus. Beim Sichten bereits vorhandener Daten stellten Paläontologen fest, daß die Lebenswelt in den letzten 600 Millionen Jahren nicht nur *eine* sondern *fünf* schwere Krisen dieser Art erlebt und vor allem überlebt hat.

Das vorliegende Buch begleitet den Leser bei der spannenden Suche der Forscher nach den Spuren dieser Krisen. Die Untersuchungen an Gesteinen auf der ganzen Welt haben mit Hilfe neu entwickelter chemischer Methoden mehrere plötzlich aufgetretene Umweltveränderungen nachgewiesen. Anschaulich schildert der Autor, wie die Lebenswelt auf die vermutlichen Auslöser und Abläufe dieser Ereignisse reagierte.

Die gewonnenen Erkenntnisse sind heute von höchster gesellschaftlicher Aktualität, denn sie belegen, daß einem Massensterben immer dramatische Umweltveränderungen vorausgegangen waren. Der Autor überträgt diese Erkenntnisse auf die Gegenwart, indem er den Rückgang der Artenvielfalt seit dem Beginn der Industrialisierung analysiert und am Ende des Buches unmißverständlich aufzeigt, daß wir uns möglicherweise bereits im sechsten großen globalen Sterbe-Ereignis befinden. Dieses unterscheidet sich von den fünf vorangegangenen in einem zentralen Punkt: Dieses Mal ist der Auslöser nicht eine Naturkatastrophe sondern der Mensch – wir selbst.



E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung

(Nägele u. Obermiller) Johannesstr. 3 A, D-70176 Stuttgart/Germany
Tel. 0711/3514560 Fax 0711/35145699 E-mail: mail@schweizerbart.de