

# PRG

## Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation

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

Jahrgang 2006, Heft 6

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

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

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



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



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

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



International Society  
for Photogrammetry  
and Remote Sensing

**DAGM**

Deutsche Arbeits-  
gemeinschaft für  
Mustererkennung e.V.



Herausgeber:

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

Published by:

E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele u. Obermiller), Johannesstraße 3 A, D-70176 Stuttgart. Tel.: 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 107, D-14473 Potsdam, e-mail: eckhardt.seyfert@geobasis-bb.de

Erscheinungsweise: 7 Hefte pro Jahrgang.

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

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

Bernhard Harzer Verlag GmbH, Westmarkstraße 59/59a, D-76227 Karlsruhe, Tel.: 07 21/9440 20, Fax: 07 21/9440 230, e-mail: Info@harzer.de, Internet: [www.harzer.de](http://www.harzer.de)

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

## PFG – Jahrgang 2006, Heft 6

### Inhaltsverzeichnis

---

#### Originalbeiträge

MAGED MARGHANY & MAZLAN HASHIM: Three-Dimensional Reconstruction of Bathymetry using C-band TOPSAR Data .....	469
KNORR, D. & SCHMULLIUS, C.: Räumliche Modellierung der Vegetationsverteilung in Zentralsibirien aus Fernerkundungsprodukten und thematischen Karten .....	481
WÄLDER, O.: Fortpflanzung der „Unschärfe“ von Messdaten auf abgeleitete differential-geometrische Größen .....	491
SCHLÜTER, M., PFEIFFER, L., BERNER, K. & WEIDES, C.: Deformation Analysis of Sandwich Surfaces Prior to Buckling Failure Employing a 3-d Scanning System and Open Source Image Processing Software .....	501
ITZEROTT, S. & KADEN, K.: Ein neuer Algorithmus zur Klassifizierung landwirtschaftlicher Fruchtarten auf Basis spektraler Normkurven .....	509

---

#### Berichte

##### Berichte

ISPRS Symposium Kommission I, 4.–6. Juli 2006 in Paris .....	519
Festkolloquium »10 Jahre IAPG Oldenburg« am 7. Juli 2006 .....	521
GICON 2006, ISPRS Symposium Kommission II, 10.–14. Juli in Wien .....	522

##### Hochschulnachrichten

Universität Osnabrück – A. GREIWE .....	524
Technische Universität Dresden – M. NEUBERT .....	524

Buchbesprechung – T. LUHMANN & C. MÜLLER .....	526
--	-----

Vorankündigungen .....	526
------------------------	-----

Satzung der DGPF .....	530
------------------------	-----

PFG-Autorenhinweise .....	535
---------------------------	-----

Zum Titelbild .....	538
---------------------	-----

Neuerscheinungen .....	539
------------------------	-----

Zusammenfassungen der Originalbeiträge (deutsch und englisch) sind auch verfügbar unter  
<http://www.dgpf.de/Texten/pfgvor.html>



## Three-Dimensional Reconstruction of Bathymetry using C-band TOPSAR Data

MAGED MARGHANY & MAZLAN HASHIM, Skudai, Johore Bahru, Malaysia

**Keywords:** Photogrammetry, remote sensing, bathymetry, SAR, TOPSAR, Malaysia

**Abstract:** This paper reports on a study carried out for the generation of three-dimensional (3D) ocean bathymetry using airborne TOPSAR data. The main objective of this study is to utilize Fuzzy arithmetic for constructing ocean bathymetry from polarized remote sensing data such as a TOPSAR image. In doing so, two three-dimensional surface models, the Volterra model and a Fuzzy B-Spline model which construct a global topological structure between the data points were used to support an approximation of real surface. The best reconstruction of coastal bathymetry of the test site in Kuala Terengganu, Malaysia, was obtained with polarized C bands TOPSAR acquired with VV polarization. With 10 m spatial resolution of TOPSAR data, an accuracy of (root mean square)  $\pm 9$  m was found with  $C_{VV}$  band.

**Zusammenfassung:** Die dreidimensionale Rekonstruktion der Unterwasser-Geländeformen mit Hilfe von TOPSAR-Daten im C-Band. In diesem Beitrag werden die Ergebnisse einer Studie vorgestellt. Insbesondere wird die Verwendung der Fuzzy-Arithmetik für die Darstellung des Tiefenreliefs aus polarisierten Fernerkundungsdaten, wie z. B. TOPSAR-Bildern, erläutert. Für diesen Zweck wurden zwei dreidimensionale Oberflächenmodelle verwendet – das Volterra-Modell und ein Fuzzy B-Spline-Modell – mit deren Hilfe eine globale topographische Struktur erzeugt wurde zur Herstellung von Approximationen für die wirkliche Geländeoberfläche. Das beste Ergebnis der Rekonstruktion des Testgebietes bei Kuala Terengganu wurde mit den TOPSAR C Band-Daten mit VV Polarisierung erreicht. Mit 10 m räumlicher Auflösung der TOPSAR-Daten wurde im  $C_{VV}$ -Band eine Genauigkeit (rms) von  $\pm 9$  m erreicht.

### 1 Introduction

The operational use of Synthetic Aperture Radar (SAR) on coastal bathymetry mapping is of interest for a diversity of end users (HENNINGS et al. 1989). It is considered to provide key parameters for coastal engineering and coastal navigation. It is also valuable towards economic activities, security and marine environmental protection (VOGELZANG et al. 1992, VOGELZANG et al. 1997, HESSELMANS et al. 2000).

Remote sensing methods in real time could be a major tool for bathymetry mapping which could produce a synoptic impression over large areas at comparatively

low cost. The ocean bathymetry features can be imaged by radar in coastal waters with strong tidal currents. Several theories concerning radar imaging mechanism of underwater bathymetry have been established by ALPERS & HENNINGS (1984), SHUCHMAN et al. (1985), and VOGELZANG et al. (1997). The imaging mechanism, which simulate under water topography from a given SAR image consists of three models: flow, wave and SAR backscatter models. These theories are on the basis of commercial services, which generate bathymetric charts by inverting SAR images at a significantly lower cost than conventional survey techniques (WENSINK & CAMPBELL 1997). In this context,

HESSELMANS et al. (2000) developed Bathymetry Assessment System, a computer program, used to calculate the depth from any SAR images, with limited number of sounding data. From their findings, imaging model was suitable for simulating a SAR image from the depth map. It showed good agreement between the backscatters in both the simulated and airborne-acquired images, when compared, with accuracy (root mean square) error of  $\pm 0.23$  m within a coastal bathymetry range of 25–30 m. INGLADA & GARELLO (1999 and 2002) introduced a non-linear tool, Volterra model to reconstruct 3-D bathymetry based on surface current velocity. In contrast to this, there are three main limitations of this technique, namely: (i) require high computational effort/task during the inverse model, (ii) the effects of linear components cannot be verified due to nonlinearity of SAR image; and (iii) the requirement to discretization of Volterra model using appropriate numerical analysis such as Euler and Lagrangian finite element for simulating the sea surface current. Further to that, the grid procedures are needed to reconstruct 3-D bottom topography from 2-D Volterra model inputs into a continuity equation. In this context, this paper addresses an approach for overcoming the above-mentioned shortcomings. The contributions of this work can be summarized as follows: (i) minimise uncertainties of Volterra output due to nonlinearity that inherent in real ocean variation and SAR data, (ii) to introduce robust approach for reconstructing 3-D bathymetry based on Fuzzy B-spline model, compared to of which both approaches use not given in the INGLADA & GARELLO (1999 and 2002), and (iii) to demonstrate the utilize of Fuzzy B-spline model to reconstruct 3-D of bathymetry from complex data without the use of the well known grid procedures.

In addition, we also emphasize how 3-D coastal water bathymetry can be reconstructed using a single airborne SAR data (namely the TOPSAR) with the integration of Volterra kernel (INGLADA & GARELLO 1999) and Fuzzy B-spline models (MAGED et al. 2002). Three hypotheses are examined: (i)

the use of Volterra model to detect ocean surface current from C band TOPSAR with VV polarization, (ii) the use of continuity equation model to obtain the water depth, and (iii) the use of Fuzzy B-spline model to invert water depth values obtained by the continuity equation into 3-D bathymetry.

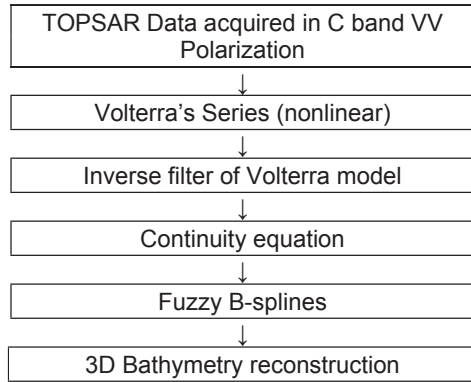
## 2 Methodology

### 2.1 Data Set

The Jet Propulsion Laboratory (JPL) airborne Topographic Synthetic Aperture Radar (TOPSAR) data were acquired on December 6, 1996 over the coastline of Kuala Terengganu, Malaysia between  $103^{\circ} 5' E$  to  $103^{\circ} 9' E$  and  $5^{\circ} 20' N$  to  $5^{\circ} 27' N$ . TOPSAR is a NASA/JPL multi-frequency radar imaging system aboard a DC-8 aircraft. It is operated by NASA's Ames research Center at Moffett Field, USA. TOPSAR data are fully polarimetric SAR data acquired with HH-, VV-, HV- and VH-polarized signals from  $5\text{ m} \times 5\text{ m}$  pixels, recorded for three wavelengths: C band (5 cm), L band (24 cm) and P band (68 cm) at 10 m spatial resolution. A further explanation of TOPSAR data acquisition can be found in MELBA et al. (1999). This study utilizes  $C_{vv}$  band for 3-D bathymetry reconstruction because of the widely known facts of the good interaction of VV polarization to oceanographic physical elements such as ocean wave, surface current features, etc. Elaboration of such further explanation can be found in (HESSELMANS et al. 2000 and INGLADA & GARELLO 2002).

### 2.2 3-D Coastal Water Bathymetry Model

There are two models involved for bathymetric simulation: Volterra and Fuzzy B-spline models. The current velocity is simulated by using Volterra model in which it could be used with the continuity equation in order to derive water depth variations. On the other hand the Fuzzy B-spline is used to reconstruct 2-D water depth to 3-D dimensional (Fig. 1).



**Fig. 1:** Flow Chart of 3-D Bathymetry Reconstruction.

### 2.3 Volterra Model

The primary purpose of Volterra model is to express SAR image intensity as a series of nonlinear filters on the actual ocean surface. This model can be used to study the image energy variation as a function of parameters such as current direction or current waveform. A generalized, nonparametric framework to describe the input–output  $x$  and  $y$  signal relation of a time-invariant nonlinear system is provided by INGLADA & GARELLO (1999). In discrete form, the Volterra series for input,  $x(n)$ , and output,  $y(n)$  as given by INGLADA & GARELLO (1999) can be expressed as:

$$\begin{aligned}
 Y(n) = & h_0 + \sum_{i_1=1}^{\infty} h_1(i_1) X(n - i_1) + \\
 & + \sum_{i_1=1}^{\infty} \sum_{i_2=1}^{\infty} h_2(i_1, i_2) X(n - i_1) X(n - i_2) + \\
 & + \sum_{i_1=1}^{\infty} \sum_{i_2=1}^{\infty} \sum_{i_3=1}^{\infty} h_3(i_1, i_2, i_3) X(n - i_1) \\
 & X(n - i_2) X(n - i_3) + \\
 & + \dots + \\
 & + \sum_{i_1=1}^{\infty} \sum_{i_2=1}^{\infty} \dots \sum_{i_k=1}^{\infty} h_k(i_1, i_2, \dots, i_k) \\
 & X(n - i_1) X(n - i_2) \dots X(n - i_k) \quad (1)
 \end{aligned}$$

where zeroth-order Volterra kernel  $h_0$  is a constant representing zero-input response

of the system and  $n$  is a discrete time: i.e., discrete time increments are indexed from 0 (time 0) to  $n$  (time  $t$ ), and the evaluation of  $Y$  at time  $n$  is denoted by  $Y(n)$ . In addition to that,  $i_1, i_2, \dots, i_k$ , are the lags in input  $X(n)$ . This implies that Volterra series is a representation of output  $Y(n)$  in terms of present and past values of input  $X(n)$ . The function  $h_k(i_1, i_2, \dots, i_k)$  is  $k$ th-order Volterra kernel characterizing the system. The  $h_1$  is the kernel of the first order Volterra functional, which performs a linear operation on the input. This term is comparable on the basis of frequency response function of a linear system, transformed into the time domain. However, kernel  $h_1$  gives a more accurate portrayal of a system's linear response, in comparison to frequency response function. This is because  $h_1$  exists with the knowledge of higher-order, nonlinear terms while the frequency response function assumes a completely linear response. The  $h_2, h_3, \dots, h_k$  capture nonlinear interactions between input and output TOPSAR signals. Here the kernel is a function of time ( $n$ ) and two distinct time lags. It is through these time lags that nonlinear kernels represent the effect of a previous response as it is carried through time in the system. The order of non-linearity is the highest effective order of multiple summations in the functional series. Following SCHETZEN (1980) Fourier transform is used to acquire nonlinearity function from equation 1 as given by

$$Y(v) = FT[Y(n)] = \int Y(n) e^{-j2\pi vn} dn \quad (2)$$

where  $v$  is frequency and  $j = \sqrt{-1}$  (INGLADA & GARELLO 2002). Domain frequency of TOPSAR image  $I_{TOPSAR}(v, \Psi)$  can be described by using equation 2 with following expression

$$I_{TOPSAR}(v, \Psi_0) = FT[I(x, y) e^{j(R/V)u_r(x, y)}] \quad (3)$$

where  $I(x, y)$  is the intensity TOPSAR image pixel of azimuth ( $x$ ) and range ( $y$ ), respectively,  $\psi_0$  is the wave spectra energy and  $R/V$  is the range to platform velocity ratio, in case of TOPSAR 32 s and  $u_r(x, y)$  is the radial component of surface velocities (IN-

GLADA & GARELLO 2002). Nevertheless, equation 3 does not satisfy the relationship between TOPSAR image and ocean surface roughness. More precisely, the action balance equation (ABC) describes the relationship between surface velocity  $\vec{U}(\vec{x})$ , and its gradient and the action spectral density  $\psi$  of the short surface wave i.e. Bragg wave (ALPERS & HENNINGS 1984). In reference to INGLADA & GARELLO (1999), the expression of ABC into first-order Volterra kernel  $H_{1y}(v_x, v_y)$  of frequency domain for the current flow in the range direction can be described as:

$$H_{1y}(v_x, v_y) = k_y \vec{U} \cdot \frac{\partial \vec{x}}{\partial u_x} \cdot \left[ \vec{K}^{-1} \left( \frac{\partial}{\partial t} + \frac{\partial \vec{c}_g}{\partial x} + \frac{\partial \vec{u}_x}{\partial x} \right) + 0.043 \frac{(\vec{u}_a \vec{K})^2}{\omega_0} \right] \cdot \left[ \frac{\partial \psi}{\partial \omega} \right] \cdot \frac{\vec{c}_g(\vec{K}) \vec{U} + j \cdot 0.043 (\vec{u}_a \vec{K})^2 \omega_0^{-1}}{[\vec{c}_g(\vec{K}) \vec{U}]^2 + [0.043 (\vec{u}_a \vec{K})^2 \omega_0^{-1}]^2} + j \cdot (0.6 \cdot 10^{-2} \cdot \vec{K}^{-4}) \left( \frac{R}{V} \right) \vec{u}_x \quad (4)$$

where  $\vec{U}$  is the mean current velocity,  $\vec{u}_x$  is the current flow while  $\vec{u}_a$  is current gradient along azimuth direction, respectively.  $k_y$  is the wave number along range direction,  $\vec{K}$  is the spectra wave number,  $\omega_0$  is the angular wave frequency,  $\vec{c}_g$  is the wave velocity group,  $\psi$  is the wave spectra energy and  $R/V$  is the range to platform velocity ratio, in case of TOPSAR 32 s. Then, domain frequency of TOPSAR image  $I_{TOPSAR}(v, \Psi)$  can be expressed by using Volterra model for ABE into equation 3 by following formula introduced by INGLADA & GARELLO (2002)

$$I_{TOPSAR}(v, \Psi) = FT \left[ \Psi_0(x, y) + \int Y(n) \cdot \sum_{N=0}^{+\infty} \frac{1}{n!} \left( j \frac{R}{V} u_y(x, y) \right)^N \right] \quad (5)$$

where  $N = 1, 2, 3, \dots, k$  and  $I_{TOPSAR}(v, \Psi)$  represents Volterra kernels for the TOPSAR image in frequency domain in which can be used to estimate current flow  $U_y(0, y)$  in the range direction ( $y$ ) with the following expression (INGLADA & GARELLO 2002)

$$I_{TOPSAR}(v, \Psi) = U_y(0, y) \cdot H_{1y}(v_x, v_y) \quad (6)$$

In reference to INGLADA & GARELLO (1999), the inverse filter  $G(v_x, v_y)$  is used since  $H_{1y}(v_x, v_y)$  has a zero for  $(v_x, v_y)$  which indicates the mean current velocity should have a constant offset. The inverse filter  $G(v_x, v_y)$  can be given as

$$G(v_x, v_y) = \begin{cases} [H_{1y}(v_x, v_y)]^{-1} & \text{If } (v_x, v_y) \neq 0, \\ 0 & \text{otherwise.} \end{cases}$$

Using equation 6 into 7, range current velocity  $U_y(0, y)$  can be estimated by

$$U_y(0, y) = I_{TOPSAR}(v, \Psi) \cdot G(v_x, v_y) \quad (8)$$

Then, the continuity equation is used to estimate the water depth as given by VOGELZANG (1992)

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \nabla \cdot \{(d + \zeta) U_y(x, y)\} = 0 \quad (9)$$

where  $\zeta$  is the surface elevation above the mean sea level, whereby it is obtained from tidal table,  $t$  is time and  $d$  is local water depth. The real current data was estimated from Malaysian tidal table of December 6, 1996.

## 2.4 The Fuzzy B-splines Method

Fuzzy numbers have been introduced with the use of Fuzzy-B-splines model, instead of intervals in the definition of B-splines. Typically, in computer graphics, there are two objective quality definitions for Fuzzy B-splines that are used: triangle-based and edge-based criteria. A Fuzzy number is defined using interval analysis. Given a data set  $S$  of sparse water depth data over a rectangular region  $D$ , we have partitioned  $D$  into a grid of  $m$  times  $n$  rectangular cells (ANILE et al. 1997). For each cell, a fuzzy number summarizing data has been computed. There are two basic notions that are combined together: confidence interval and presumption level. A confidence interval is a real values interval which provides the sharpest enclosing range for water depth ( $d$ ) function of ocean current gradient values.



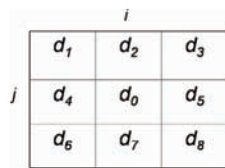
It is an assumption  $\mu$ -level is an estimated truth value in the  $[0,1]$  interval on our knowledge level of water depth variation over a region  $D$  (ANILE 1997). The 0 value corresponds to minimum knowledge of water depth, and 1 to the maximum water depth. A Fuzzy number is then prearranged in confidence interval set, each one related to a presumption level  $\mu \in [0, 1]$ . Moreover, the following must hold each pair of confidence interval which defines a number:  $\mu > \mu' \Rightarrow d > d'$ . Let us consider a function  $f: d \rightarrow d$ , of  $N$  fuzzy variables  $d_1, d_2, \dots, d_N$ . Where  $d_N$  are the global minimum and maximum water depth values which are function of the current gradient variation into the space ( $S$ ). Based on the spatial variation of gradient current, and water depth, the algorithms are used to compute the function  $f$ .

Let  $d(i, j)$  be the depth value at location  $i, j$  in the region  $D$  where  $i$  is the horizontal and  $j$  is the vertical coordinates of a grid of  $m$  times  $n$  rectangular cells. Let  $N$  be the set of eight neighboring cells (Fig. 2). The input variables of the fuzzy are the amplitude differences of water depth  $d$  defined by (ANILE et al. 1997):

$$\Delta d_i = d_i - d_0, \quad i = 1, \dots, 8 \tag{10}$$

where the  $d_i$ ,  $N = 1, \dots, 8$  values are the neighboring cells of the actually processed cell  $d_0$  along the horizontal coordinate  $i$ . To estimate the fuzzy number of water depth  $d_j$  which is located along the vertical coordinate  $j$ , we estimated the membership function values  $\mu$  and  $\mu'$  of the fuzzy variables  $d_i$  and  $d_j$ , respectively by the following equations were described by RÖVID et al. (2004)

$$\mu = \max \{ \min \{ m_{pl}(\Delta d_i) : d_i \in N_i \}; N = 1, \dots, 9 \} \tag{11}$$



**Fig. 2:** Grid used to obtain Fuzzy number in  $i$  and  $j$  coordinates.

$$\mu' = \max \{ \min \{ m_{LNl}(\Delta d_i) : d_i \in N_i \}; N = 1, \dots, 9 \} \tag{12}$$

where  $m_{pl}$  and  $m_{LNl}$  correspond to the membership functions of fuzzy sets. From equations 11 and 12, one can estimate the fuzzy number of water depth  $d_j$

$$d_j = d_i + (L - 1) \Delta \mu \tag{13}$$

where  $\Delta \mu$  is  $\mu - \mu'$  and  $L = \{d_1, \dots, d_N\}$ . Equations 12 and 13 represent water depth in 2-D, in order to reconstruct fuzzy values of water depth in 3-D, then fuzzy number of water depth in  $z$  coordinate is estimated by the following equation proposed by RUSO (1998),

$$d_z = \Delta \mu \text{MAX} \{ m_{LA} | d_{i-1,j} - d_{i,j}, m_{LA} | d_{i,j-1} - d_{i,j} \} \tag{14}$$

where  $d_z$  fuzzy water depth value in  $z$  coordinate which is function of  $i$  and  $j$  coordinates i. e.  $d_z = F(d_i, d_j)$ . Fuzzy number  $F_0$  for water depth in  $i, j$  and  $z$  coordinates then can be given by

$$F_0 = \{ \min(d_{z_0}, \dots, d_{z_n}), \max(d_{z_0}, \dots, d_{z_n}) \} \tag{15}$$

where  $\Omega = 1, 2, 3, 4, \dots$ ,

The fuzzy number of water depth  $F_0$  then defined by B-spline in order to reconstruct 3-D of water depth. In doing so, B-spline functions including the knot positions, and set of control points are constructed. The requirements for B-spline surface are set of control points, set of weights and three sets of knot vectors and are parameterized in the  $p$  and  $q$  directions.

A Fuzzy B-spline surface  $S(p, q)$  is described as a linear combination of basis functions in two topological parameters  $p$  and  $q$ . Let  $R = r_0; \dots; r_m$  be a nondecreasing sequence of the real numbers. The  $r_i$  is called knots and  $R$  is the knot vector. The interval  $r_i$  and  $r_{i+1}$  is called knot span. According to ANILE et al. (1995) the  $P$ th-degree (order  $P + 1$ ) piecewise polynomial function B-Spline basis function, denoted by  $\beta_{i,p}(r)$  is given by

$$\beta_{i,1}(r) = \begin{cases} 1 & \text{If } r_i \leq r \leq r_{i+1}, \\ 0 & \text{otherwise;} \end{cases}$$

$$\beta_{i,P}(r) = \frac{r - r_i}{r_{i+P-1} - r_i} \beta_{i,P-1}(r) + \frac{r_{i+P} - r}{r_{i+P} - r_{i+1}} \beta_{i+1,P-1}(r)$$

for  $P > 1$ . (17)

To exercise more shape controllability over the surface, and invariance to perspective transformations, Fuzzy B-spline is introduced. Besides having the control point as in the B-Spline, Fuzzy B-spline also provides a set of weight parameters  $w_{i,j}$  that exert more local shape controllability to achieve projective invariance. Following FUCHS et al. (1997) and RUSSO (1998), Fuzzy B-spline surface that is composed of (OxM) patches is given by

$$S(p, q) = \frac{\sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^O F_O C_{ij} \beta_{i,4}(p) \beta_{j,4}(q) w_{i,j}}{\sum_{m=0}^M \sum_{l=0}^O \beta_{m,4}(p) \beta_{l,4}(q) w_{ml}} = \sum_{i=0}^M \sum_{j=0}^O F_O C_{ij} S_{ij}(p, q) \quad (18)$$

$\beta_{i,4}(p)$  and  $\beta_{j,4}(q)$  are two basis B-spline functions,  $\{C_{ij}\}$  are the bidirectional control net and  $\{w_{ij}\}$  are the weights. The curve points  $S(p, q)$  are affected by  $\{w_{ij}\}$  in case of  $p \in [r_i, r_{i+P+1}]$  and  $q \in [r_j, r_{j+P'+1}]$ , where  $P$  and  $P'$  are the degree of the two B-spline basis functions constituted the B-spline surface. Two sets of knot vectors are *knot*  $p = [0, 0, 0, 0, 1, 2, 3, \dots, O, O, O, O]$ , and *knot*  $q = [0, 0, 0, 0, 1, 2, 3, \dots, M, M, M, M]$ . Fourth order B-spline basis are used  $\beta_{i,4}(\cdot)$  to ensure continuity of the tangents and curvatures on the whole surface topology including at the patches boundaries.

The selected windows of  $512 \times 512$  pixels and lines (Fig. 1) used to implement Volterra and Fuzzy B-spline models. In order to evaluate the simulation method quantitatively, regression model and root mean square were computed to acquire bathymetry accuracy using TOPSAR data and topographic map of 1998 sheet number 4365 of 1:25,000.00 scale.

### 3 Results and Discussion

Fig. 3 shows regions of interest that were used to simulate bathymetric information by using C-band with VV polarization. The bathymetry information has been extracted from 5 sub-images, each been  $512 \times 512$  pixels. Fig. 4 shows the signature of underwater topography which can turn up as a result of brightness frontal line parallel to shoreline. Furthermore, it is clear that the front occurred between nearshore and offshore water, which is a clear indications of tidal front events. In fact, the interaction of tidal current with topography can form a tidal front. The TOPSAR backscatter cross-section across front is damped by 0.33 to -7.0 dB. It is known the maximum backscatter values of 0.33 dB is found across the brightness frontal line. Moreover, the variation of radar backscatter cross-section is due to current boundary gradient. According to VOGELZANG et al. (1997), ocean current boundaries are often accompanied by the changes in the surface roughness that can be detected by SAR. These surface roughness changes are due to the interaction of surface waves directly with surface current gradients. These interactions can cause an increase in the surface roughness and radar backscatter (SHUCHMAN & LYZENGA 1985 and WENSINK & CAMPBELL 1997). Furthermore, these interactions have manifested by bright band in TOPSAR image (Fig. 4). An alternate explanation to bathymetric TOPSAR signature (Fig. 4) that SAR imagine of the bathymetry is only observed in the presence of strong tidal currents. In fact the underwater bottom topography modifies current surface in which the SAR senses these variations. The occurrence of boundary current in the SAR image is contributed to tidal current on order of 0.4 m/s or more. Tidal current flow interacts with the surface waves and thus causing a spatial modulation of Bragg scattering waves. In addition to that, SAR backscattering cross section is proportional to spectra energy density of the Bragg waves, which contributed significantly to imaging mechanism of brightness current boundary (VOGELZANG et al. 1992).

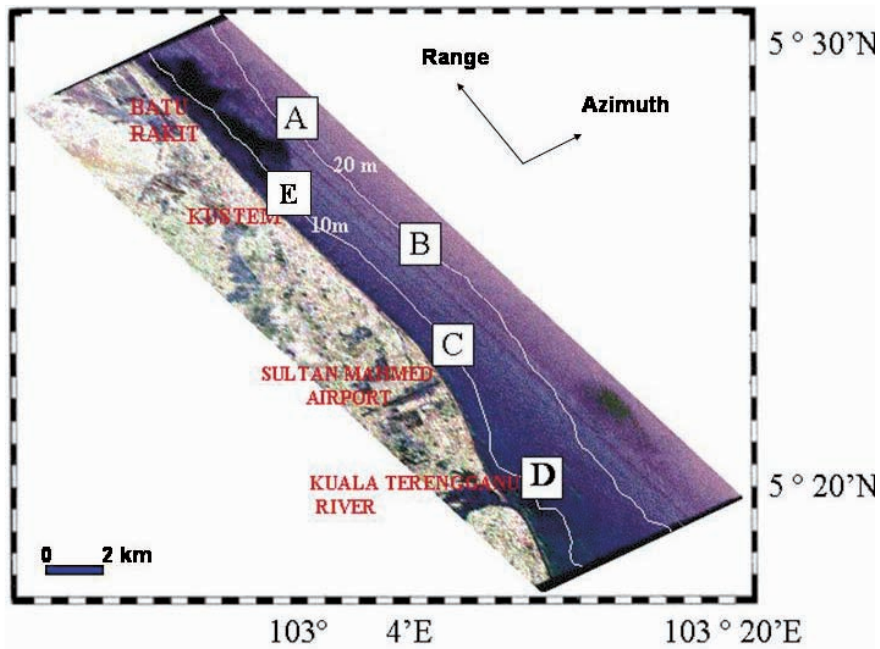


Fig. 3: Selected Window Sizes of A to D with  $512 \times 512$  pixels.

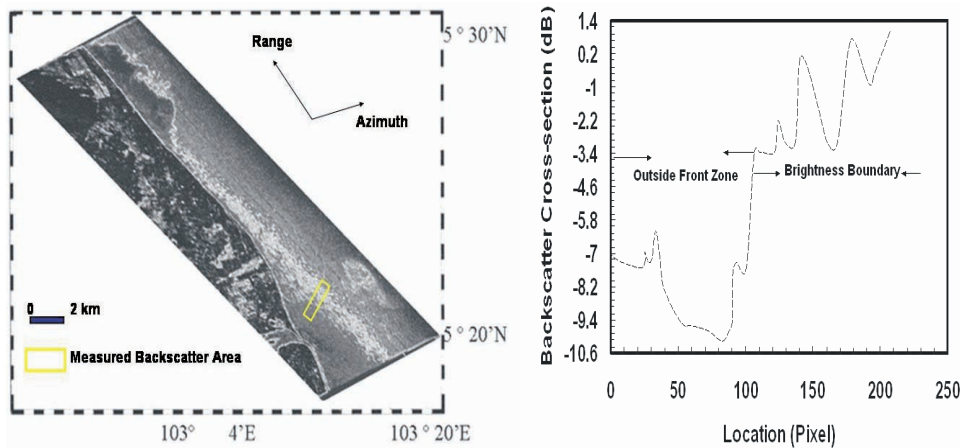


Fig. 4: (a) Bathymetry Signature with  $C_{vv}$  Band and (b) Its Backscatter cross-section.

This may provide an explanation of clear bathymetric signatures in TOPSAR  $C_{VV}$  band due to strong tidal current flow. Spatial variation of current flow is forced by bathymetric changes. Moreover, continuity equation is used to capture spatial variation of current flow in which is function of water

depth. A similar finding was also described by ROMEISER & ALPERS (1997).

Fig. 5 shows the coastal water current was modelled from  $C_{VV}$  by Volterra model. The maximum current velocity was 1.4 m/s which moved from the north direction. In fact December represents the northeast

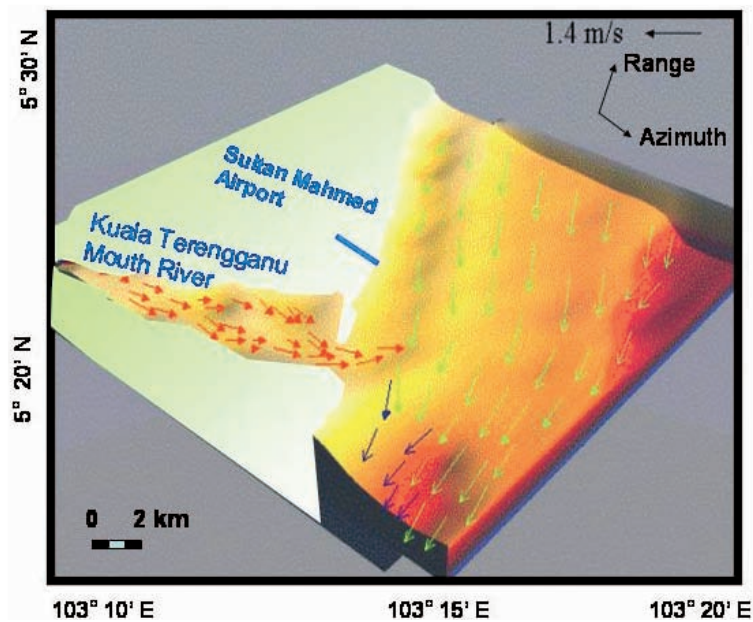


Fig. 5: Current Vectors Simulated from  $C_{vv}$  band.

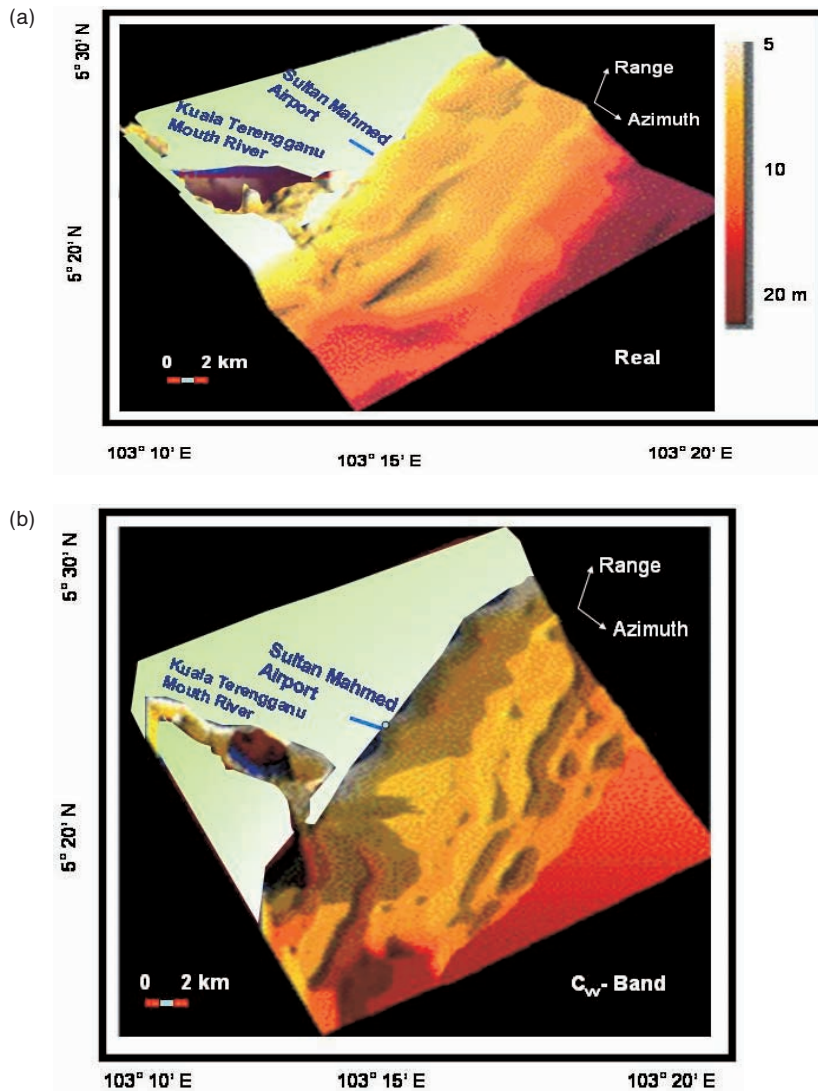
monsoon period as coastal water currents in the South China Sea tend to move from the north direction (MAGED 1994). This proves the recurrence of brightness front was due to strong tidal current flow (Fig. 4). Furthermore, MAGED (1994) quoted that strong tidal current is a dominant feature in the South China Sea with maximum velocity of 1.5 m/s. The range travelling current is due to weak non-linearity caused by the smaller value of  $R/V$  which is 32s. The weak non-linearity was assisted by the contribution of linear kernels of range current. This means that the range current will be equal to zero. However, the inversion of linear kernel of Volterra model allowed us to map current movements along the range direction. This result confirmed the study of INGLADA & GARELLO (1999).

Fig. 6 shows the comparison between 3-D bathymetry reconstruction from topography map and  $C_{vv}$  band data. It is obvious that the coastal water bathymetry along the Sultan Mahmed Airport has a gentle slopes and moving parallel to the shoreline. Closed to the river mouth, the bathymetry at loca-

tion shows a sharp slope. The  $C_{vv}$  band captured an approximately real bathymetry pattern. This result could be confirmed with regression model in Fig. 7 with  $R^2$  value of 0.62 and accuracy (root mean square) of  $\pm 9$  m. This results is strengthened by ANOVA statistical analysis. Statistical analysis shows there is a significant relationship between bathymetry pattern reconstructed from TOPSAR image and topography map, which was shown by the greater value of statistical  $F(578)$  than significant  $F(0.009)$ , with probability value  $p$  less than 0.05 (Tab. 1). This confirms the studies of SHUCHMAN et al. (1985) and ROMEISER & ALPERS

Tab. 1: Significant Relationship between TOPSAR and Topography Map.

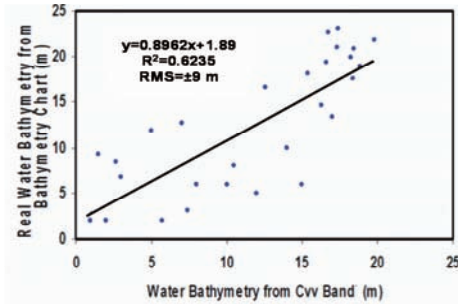
Statistical Parameters	Values
$F$	578
Significant $F$	0.009
$P$	<0.05
$R^2$	0.62
RMS	$\pm 9$ m



**Fig. 6:** Three-Dimensional Bathymetry Reconstructions from (a) Real Topography Map and (b)  $C_{vv}$  Band.

(1997) which reported  $C_{vv}$  band might be used to map coastal water bathymetry. Furthermore, it is interesting to notice that the surface current vectors (Fig. 5) were moved by oblique angle to bathymetry spatial variations (Fig. 6). In fact the bottom topography is not imaged when the bottom feature parallel to current direction (ROMEISER & ALPERS 1997).

The visualization of 3-D bathymetry is sharp with the TOPSAR  $C_{vv}$  band and real data due to the fact that each operations on a fuzzy number becomes a sequence of corresponding operations on the respective  $\mu$  and  $\mu'$ -levels, and the multiple occurrences of the same fuzzy parameters evaluated as a result of the function on fuzzy variables (ANILE 1997, ANILE et al. 1997). It is very



**Fig. 7:** Regression Model between Real water Bathymetry from Bathymetry Chart and Water Bathymetry from  $C_{vv}$  Band.

easy to distinguish between smooth and jagged bathymetry. Typically, in computer graphics, two objective quality definitions for Fuzzy B-splines were used: triangle-based criteria and edge-based criteria. Triangle-based criteria follow the rule of maximization or minimization, respectively, the angles of each triangle. The so-called max-min angle criterion prefers short triangles with obtuse angles. The finding confirms those of KEPPEL (1975) and ANILE (1997). This can be seen in Fig. 6 where the symmetric 3-D structure of the bathymetry of a segment of a connecting depth. Smooth sub-surfaces appear in Fig. 6 where the near-shore bathymetry of 5 m water depth run nearly parallel in 3D-space. A rough sub-surface structure appears in steep regions of 20 m water depth. This is due to the Fuzzy B-splines which is considered as a deterministic algorithms. It is described here to optimize a triangulation locally between two different points.

The result obtained in this study disagrees with the previous study by INGLADA & GARELLO (1999 and 2002) who implemented two-dimensional Volterra model to SAR data. 3-D object reconstruction is required to model variation of random points which are function of  $x$ ,  $y$ , and  $z$  coordinates. It is incredible to reconstruct 3D using two coordinates i. e.  $(x, y)$ . In addition, finite element model is required to discretize two-dimensional Volterra and continuity models in study of INGLADA & GARELLO (1999 and 2002) to acquire depth variation in SAR im-

age without uncertainty. Previous studies done by ALPERS & HENNINGS (1984), SHUCHMAN et al. (1985), VOGELZANG et al. (1997), ROMEISER & ALPERS 1997, INGLADA & GARELLO (1999), and HESSELMANS et al. (2000) were able to model spatial variation of sand waves. In this study, Fuzzy B-spline algorithm produced 3-D bathymetry reconstruction without existence of shallow sand waves. In fact Fuzzy B-spline algorithm is able to keep track of uncertainty and provide tool for representing spatially clustered depth points. This advantage of Fuzzy B-spline is not provided in Volterra and continuity models.

#### 4 Conclusion

The utilization of TOPSAR imagery for 3-D bathymetry reconstruction has been implemented by using Volterra and Fuzzy B-spline models. The inversion of Volterra model was used to simulate coastal water current movements. This model was able to acquire maximum surface current value of 1.4 m/s, which within the expected range of current speeds in South China Sea. Strong tidal current speed of 1.4 m/s contributed significantly to the existence of the sharp brightness current boundary in TOPSAR image. In fact the Volterra model was also able to model surface current in two dimensions. Fuzzy algorithm is used to simulate 3-D water depth variation by using one dimensional continuity equation. The fuzzy number values were implemented in B-spline algorithm to reconstruct 3-D bathymetry. Fuzzy B-spline algorithm could visualize the range variations between 5–20 m of water bathymetry. A significant relationship was found between 3-D bathymetry reconstructed using topography map and TOPSAR images. In fact Fuzzy B-spline solved difficulties of spaced grid which is not provided by Volterra model. It can be stated that  $C_{vv}$ -band provided bathymetry information is an accurate value of  $\pm 9$  m. In conclusion, the integration between Volterra and Fuzzy B-splines models could be an excellent tool for 3-D bathymetry reconstruction.

## References

- ALPERS, W. & HENNINGS, I., 1984: A theory of the imaging mechanism of underwater bottom topography by real and synthetic aperture radar. – *J. Geophys. Res.* **89**: 10,529–10,546.
- ANILE, A.M., GALLO, G. & PERFILEVA, I., 1997: Determination of Membership Function for Cluster of Geographical data. – Technical Report No.26/97, 25 p., Institute for Applied Mathematics, National Research Council, Genova.
- ANILE, A.M., 1997: Report on the activity of the fuzzy soft computing group. – Technical Report of the Dept. of Mathematics, 10 p., University of Catania.
- ANILE, A.M., DEODATO, S. & PRIVITERA, G., 1995: Implementing fuzzy arithmetic. – *Fuzzy Sets and Systems*, 72.
- FUCHS, H., KEDEM, Z.M. & USELTON, S.P., 1977: Optimal Surface Reconstruction from Planar Contours. – *Communications of the ACM*, **20**(10): 693–702.
- HENNINGS, I., METZNER, M. & CALKOE, C.J., 1998: Island Connected sea bed signatures observed by multi-frequency synthetic aperture radar. – *International Journal Remote Sensing* **19**(10): 1933–1951.
- HESSELMANS, G.H., WENSINK, G.J., KOPPEN, V., VERNEMMEN, C. & CAUWENBERGHE, C.V., 2000: Bathymetry assessment Demonstration of the Belgian Coast-Babel. – *The hydrographic Journal* **96**: 3–8.
- INGLADA, J. & GARELLO, R., 1999: Depth estimation and 3D topography reconstruction from SAR images showing underwater bottom topography signatures. – *Proceedings of IGARSS'99*.
- INGLADA, J. & GARELLO, R., 2002: On rewriting the imaging mechanism of underwater bottom topography by synthetic aperture radar as a Volterra series expansion. – *IEEE Journal of Oceanic Engineering* **27**(3): 665–674.
- KEPPEL, E., 1975: Approximation Complex Surfaces by Triangulations of Contour Lines. – *IBM Journal of Research Development* **19**: 2.
- MAGED, M., 1994: Coastal Water Circulation of Kuala Terengganu, Malaysia. – MSc. Thesis, Universiti Pertanian Malaysia.
- MAGED, M., MOHD, H.L. & YUNUS, K., 2002: TOPSAR Model for bathymetry Pattern Detection along coastal waters of Kuala Terengganu, Malaysia. – *Journal of Physical Sciences* **14**(3): 487–490.
- MELBA, M., KUMAR, S., RICHARD, M.R., GIBEAUT, J.C. & AMY, N., 1999: Fusion of Airborne polarimetric and interferometric SAR for classification of coastal environments. – *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* **37**: 1306–1315.
- ROMEISER, R. & ALPERS, W., 1997: An improved composite surface model for the radar backscattering cross section of the ocean surface, 2, Model response to surface roughness variations and the radar imaging of underwater bottom topography. – *J. Geophys. Res.* **102**, 25, 251–25,267.
- RUSO, F., 1998: Recent advances in fuzzy techniques for image enhancement. – *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* **47**: 1428–1434.
- RÖVID, A., VÁRKONYI, A.R. & VÁRLAKI, P., 2004: 3D Model estimation from multiple images. – *IEEE International Conference on Fuzzy Systems, FUZZY-IEEE'2004*, July 25–29, 2004, Budapest, Hungary, pp. 1661–1666.
- SCHETZEN, M., 1980: The Volterra and Wiener theories of nonlinear systems. – John Wiley & Sons, New York.
- SHUCHMAN, R.A., LYZENGA, D.R. & MEADOWS, G.A., 1985: Synthetic aperture radar imaging of ocean-bottom topography via tidal-current interactions: theory and observations. – *International Journal Remote Sensing* **6**: 1179–1200.
- VOGELZANG, J., 1997: Mapping submarine sand waves with multiband imaging radar. 1, Model development and sensitivity analysis. – *J. Geophys. Res.* **102**: 1163–1181.
- VOGELZANG, J., WENSINK, G.J., DE LOOR, G.P., PETERS, H.C. & POWWELS, H., 1992: Sea bottom topography with X band SLAR: the relation between radar imagery and bathymetry. – *International Journal Remote Sensing* **13**: 1943–1958.
- VOGELZANG, J., WENSINK, G.J., CALKOE, C.J. & VAN DER KOOIJ, M.W.A., 1997: Mapping submarine sand waves with multiband imaging radar. 2, Experimental results and model comparison. – *J. Geophys. Res.* **102**: 1183–1192.
- WENSINK, H. & CAMPBELL, G., 1997: Bathymetric map production using the ERS SAR. – *Backscatter* **8** (1): 17–22.

Authors' address:

Dr. MAGED MARGHANY  
Prof. Dr. MAZLAN HASHIM  
Department of Remote Sensing  
Faculty of Geoinformation Science  
and Engineering  
Universiti Teknologi Malaysia  
81310 UTM, Skudai, Johore Bahru,  
Malaysia  
e-mail: maged@fksg.utm.my  
mazlan@fksg.utm.my

Manuskript eingereicht: März 2006  
Angenommen: Juli 2006



## Räumliche Modellierung der Vegetationsverteilung in Zentralsibirien aus Fernerkundungsprodukten und thematischen Karten

DANIELA KNORR & CHRISTIANE SCHMULLIUS, Jena

**Keywords:** Remote Sensing, spatial modeling, data fusion, land cover classification, boreal ecosystem, carbon balance

**Zusammenfassung:** Traditionell basieren satellitengestützte Methoden der Landbedeckungsklassifizierung in großen Untersuchungsgebieten auf nur einem Haupteingangsdatensatz (z. B. MODIS land cover und SPOT VGT für GLC2000) und der Benutzung von Trainingsgebieten. In der vorliegenden Arbeit wird ein Ansatz vorgestellt, der für die Ableitung einer Landbedeckungskarte für ein 3 Mio. km<sup>2</sup> großes Untersuchungsgebiet in Zentralsibirien mehrere unabhängige satellitenbasierte Fernerkundungsprodukte sowie eine nationale Bodenkarte fusioniert. Durch die Verwendung spezieller Entscheidungsregeln, die auf landschaftsökologischen Gegebenheiten des borealen Untersuchungsgebietes basieren, konnte die Klassifizierung der Vegetation vertieft und sogar dominierende Baumarten unterschieden werden. Eine derartige Klassifizierungstiefe wird für die terrestrische Kohlenstoffbilanzierung auf regionalem Maßstab benötigt, wurde aber bisher von keinem fernerkundungsbasierten Landbedeckungsprodukt für dieses Untersuchungsgebiet auf vergleichbarem Maßstab erreicht.

**Summary:** *Spatial Modeling of Vegetation Units in Central Siberia using Remote Sensing Products and Thematic Maps.* Traditionally, satellite-based approaches of land cover classification over large areas rely upon one main input data set (e. g. MODIS land cover and SPOT VGT for GLC2000) and the use of training areas. We developed an approach for the derivation of a vegetation map over a 3 Mio km<sup>2</sup> study area in Central Siberia, which is based on fusion of several different independent satellite remote sensing products and a national soil map. Using special decision rules, which rely upon landscape ecological regularities of the boreal study region, the vegetation classification could be enhanced down to species level. Such a depth of vegetation classification is needed for the regression based approach for terrestrial full carbon accounting on regional scale of the International Institute of Applied Systems Analysis (IIASA), Laxenburg, Austria.

---

### 1 Einleitung

Entsprechend der Vorgaben des Kyoto-Protokolls ist es notwendig, bis zum ersten Validierungszeitraum 2008–2012 geeignete Methoden zu entwickeln, die die räumliche Verteilung von Quellen und Senken der Treibhausgase Kohlendioxid, Methan und Distickstoffmonoxid flächendeckend mit ausreichender Genauigkeit abzuschätzen erlauben. Im Rahmen des von 2002 bis 2005 durch die Europäische Union finanzierten Projektes SIBERIA-II (SCHMULLIUS et al.

2003, <http://www.siberia2.uni-jena.de>) entwickelte das International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA) in Laxenburg/Österreich ein GIS-basiertes semi-empirisches Modell, welches mittels Regressionsgleichungen Kohlenstoffspeicher und -flüsse in einem 3 Mio. km<sup>2</sup> großen Untersuchungsgebiet in Zentralsibirien zulässt. Dabei benutzt das Modell empirische Werte (ermittelt aus forstwirtschaftlichen Ertragstabellen, Landwirtschaftsstatistiken und zahlreichen Messungen) für Phytomasse, Wachstumsraten und autotrophe und hete-

rotrophe Atmung verschiedener Pflanzen unter verschiedenen Umweltbedingungen (Klima, Standortqualität, Bestandsalter), um den Kohlenstoffgehalt in den Pflanzen und deren Nettoprimärproduktion (NPP) zu berechnen (SHVIDENKO et al.). Den bestimmenden Parameter dieses Modells stellt demnach die Vegetationsverteilung dar. Die für das Modell benötigten Daten werden durch einen vektorbasierten GIS-Datensatz mit einer attribuierten Datenbank mit Informationen über die Vegetationstypen, Bodentypen und Klima repräsentiert. Dieser Datensatz wurde durch russische Vegetationsexperten erstellt, welche anhand einer Fülle an Informationsquellen (v. a. Forstinventurdaten, nationale Boden- und Landschaftskarten, topographische Karten, Luftbilder) homogene (bezüglich Vegetation und Boden) Polygone identifizierten und manuell digitalisierten. Das resultierende Produkt ist eine Vegetationskarte für das Jahr 2003, die aufgrund des einfließenden Expertenwissens einzigartig ist, aber deren Erstellung extrem zeit- und arbeitsintensiv war. Daneben werden die benötigten Forstinventuren nur alle 10 bis 15 Jahre wiederholt. Somit ist es sehr schwierig eine derartige Datenbank für weitere Jahre zu aktualisieren. Um Aussagen über Veränderungen in der Kohlenstoffbilanz im Untersuchungsgebiet treffen zu können, werden aber Informationen über mehrere Jahre in Folge benötigt.

Nur eine automatisierte Methode und kontinuierlich aufgenommene Daten können die benötigte zeitliche Auflösung liefern. Die Fernerkundung stellt die einzige Methode dar, flächendeckend räumlich und zeitlich hoch aufgelöste Daten von zum Teil unzugänglichen Gebieten zu erhalten. Fernerkundungssysteme mit der nötigen Flächenabdeckung und zeitlichen Auflösung erlauben aber aufgrund ihrer geringeren räumlichen und spektralen Auflösung nicht die für das IIASA-Modell benötigte Tiefe der Vegetationsklassifikation bis hin zu Baumarten.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Entwicklung einer automatisierten Methode zur Ableitung einer Landbedeckungskarte für ein 3 Mio. km<sup>2</sup> großes Un-

tersuchungsgebiet in Zentralsibirien mit höherer Klassifikationstiefe als vergleichbare Produkte für dieses Gebiet. Im Gegensatz zu traditionellen satellitenbasierten Methoden der Landbedeckungsklassifizierung großer Gebiete, welche sich auf einen Eingangsdatensatz stützen, basiert diese Methode auf einer GIS gestützten Fusion mehrerer Datenquellen, sowie einem aus landschaftsökologischen Gesetzmäßigkeiten für diese Region abgeleiteten Regelwerk.

## 2 Konzept: Räumliche Modellierung der Vegetationsverteilung

Die Verteilung der Vegetation ist das Resultat der Interaktionen zwischen verschiedenen Landschaftsfaktoren. Hierzu zählen vor allem die Topographie, welche Temperatur und Allokation von Wasser beeinflusst und Bodentextur, welche einen Einfluss auf die Wasserverfügbarkeit für Pflanzen hat (PFEFFER et al. 2003). Die dadurch gesteuerte Verteilung der potentiellen natürlichen Vegetation wird zusätzlich durch natürliche und anthropogene Störungen, wie Feuer, Insektenbefall, Windwurf und Rodung beeinflusst.

In Gebieten, die zu groß oder unzugänglich für Vegetationskartierungen im Gelände sind, ermöglicht die Verwendung von GIS unter Berücksichtigung ökologischer Zusammenhänge bestimmte Vegetationsmuster aus der räumlichen Verteilung anderer Landschaftselemente, die z. B. mit Hilfe der Fernerkundung kartiert werden, räumlich zu modellieren (VOGIATZAKIS 2003).

Beispiele für die kombinierte Verwendung von GIS und Fernerkundungsdaten für Vegetationsmodellierung sind zahlreich vorhanden. So präsentierten OHMAN & GREGORY (2002) eine GIS-basierte Gradientanalyse und Nearest Neighbour Methode für die Abschätzung der Waldzusammensetzung und Struktur in der Oregon Coastal Province. Durch die Verwendung multipler Vegetationsattribute von georeferenzierten Waldinventurplots, klimatischer, topographischer und geologischer Karten, sowie einer Landbedeckungskarte aus Landsat TM Daten, erzielten sie eine gute bis mode-

rate Genauigkeit der modellierten Baumartenverteilung.

Im SIBERIA-II Untersuchungsgebiet führten KHARUK et al. (2003) eine Waldkartierung entlang des Flusses Jenisei mit NOAA AVHRR Daten durch. Die Klassifizierungen des 1000 km × 3000 km großen Transekts, welcher durch sehr unterschiedliche Landschaften geprägt ist, konnte im Vergleich zu ersten Versuchen erheblich verbessert werden, nachdem der Transekt in mehrere Ökoregionen unterteilt wurde, in welchen unterschiedliche Vegetationsklassen möglich waren.

In einer weiteren Studie im SIBERIA-II Gebiet nutzte KUZMENKO (2003) satellitengetragene MK-4 Daten und Informationen über Höhenlage, Boden und Geomorphologie aus existierenden Karten für die Erstellung einer Waldkarte mit besonderem Schwerpunkt auf anthropogene Störungen im Südöstlichen Teil der Angara-Jenisei-Region.

Für großräumige Regionen, wie dem gesamten SIBERIA-II Untersuchungsgebiet liegen vergleichbare Untersuchungen noch nicht vor.

Im Rahmen des Projektes SIBERIA-II wurde eine Landbedeckungskarte mit 16

Klassen aus MODIS Daten mit 500 m räumlicher Auflösung (SKINNER & LUCKMAN 2004) für das Jahr 2003 erstellt. Nutzt man diese Karte zur primären Unterscheidung zwischen übergeordneten Vegetationstypen, wie Nadel- und Laubwald, können Informationen über Höhenlage, Bodentypen und bioklimatische Regionen, helfen, eine Landbedeckungskarte mit vertiefter Klassifizierung bis hin zu Baumarten für das Untersuchungsgebiet zu erstellen.

### 3 Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet befindet sich in Zentralsibirien/Russland und umfasst 3,28 Mio. km<sup>2</sup> (Abb. 1). Das Klima ist aufgrund der enormen Nord-Süd-Ausdehnung von etwa 3000 km sehr divers. Die jährliche Durchschnittstemperatur nimmt von -17°C im Norden auf 0°C im Südwesten zu (ROJKOV et al. 2003).

Aufgrund der niedrigen Jahresmitteltemperaturen ist beinahe im gesamten Untersuchungsgebiet Permafrost zu finden, welcher Einfluss auf die Vegetationsverteilung und die Infiltration von Niederschlag in den Boden hat. So kommt es in weiten Teilen des Untersuchungsgebietes zu Wasserstau und



Abb. 1: Untersuchungsgebiet in Zentralsibirien/Russland.

der Bildung von mächtigen Torf- und Rohhumusschichten. Besonders im Norden des Untersuchungsgebietes und westlich des Jenissejs, dem längsten Fluss im Untersuchungsgebiet, findet man ausgedehnte Feuchtgebiete (SCHULTZ 1995).

Als Resultat des diversen Klimas ist eine Veränderung der Vegetationsgesellschaften von Tundra mit zahlreichen kleinen Seen und Feuchtgebieten im Norden, über einen ca. 100 km breiten Gürtel aus Waldtundra bei etwa 72° N zu borealem Nadelwald zu beobachten. Letzterer, auch als Taiga bezeichnet, nimmt mit etwa 60 % den größten Teil der Vegetation im Untersuchungsgebiet ein (ROJKOV et al. 2003). Verglichen mit den borealen Wäldern Nordamerikas und Ostasiens, beheimatet die sibirische Taiga eine viel geringere Zahl an Baumarten. Kiefer, Tanne, Fichte, Lärche, Sibirische Kiefer, Birke und Espe machen allein etwa 87 % des gesamten Russischen Waldes aus (SHVIDENKO & NILSSON 2003). Im trockenen Süden des Untersuchungsgebietes findet man einige kleine Steppen- und Waldsteppengebiete, die aber nur 2 % des Untersuchungsgebietes bedecken. Durch den geringen Nährstoffgehalt der Böden und die kurze Vegetationsperiode spielt Landwirtschaft nur eine untergeordnete Rolle in diesem Gebiet. Landwirtschaftliche Flächen, bedecken nur etwa 3,2 % des gesamten Untersuchungsgebietes (ROJKOV et al. 2003).

#### 4 Entscheidungs-basierte Post-Klassifizierung

Die Inputdaten für die Erstellung der fernerkundungsbasierten Landbedeckungskarte, im Folgenden als FE-Karte bezeichnet, stehen durch das Projekt SIBERIA-II zur Verfügung und stammen sowohl von Satellitendaten als auch vorhandenem Kartenmaterial.

Bei der Erstellung der FE-Karte handelt es sich um eine Post-Klassifizierung der aus MODIS-Daten erzeugten SIBERIA-II Landbedeckungskarte mit 500 m Pixelgröße (SKINNER & LUCKMAN 2004), welche mit insgesamt 16 Klassen Auskunft über die Verteilung von übergeordneten Vegetationstypen, wie Nadel- und Laubwald, Grasland, Steppe und Tundra gibt. Diese Klassen werden aufgrund der Werte verschiedener unabhängiger Inputdaten und durch Anwendung der im folgenden erläuterten Entscheidungsregeln weiter in Baumarten und verschiedene Tundren-, Feuchtgebieten- und Steppentypen differenziert. Diese Entscheidungsregeln wurden speziell für das Untersuchungsgebiet erstellt und beruhen auf landschafts-ökologischen Gesetzmäßigkeiten, wie z. B. Höhenstufen in Gebirgen, und auf Informationen aus der IASA-Vegetationskarte.

Aufgrund der enormen Nord-Süd-Ausdehnung des Untersuchungsgebietes von etwa 3000 km und den daraus resultierenden unterschiedlichen Klimabedingungen und Vegetationszonen, war es notwendig, das Untersuchungsgebiet in einem ersten Schritt in mehrere Ökoregionen zu unterteilen, für welche unterschiedliche Entscheidungsregeln entwickelt wurden. Durch Verwendung der Ökoregionen Tundra, Nördliche, Mittlere und Südliche Taiga, Gebirgstaiga und Steppe konnte eine erste Plausibilitätskontrolle der SIBERIA-II Landbedeckungskarte vorgenommen und eindeutige Fehlklassifizierungen beseitigt werden. Beispielsweise darf die Klasse „Steppe“ nur in der Ökoregion Steppe vorkommen. Pixel mit dieser Klassenzuweisung in anderen Ökoregionen werden entsprechend den Entscheidungsregeln umklassifiziert.

Eine weitere Plausibilitätsprüfung erfolgte durch die Verwendung des MODIS Vegetation Continuous Field (VCF) Produktes (HANSEN et al. 2003), welches half, die Eingangsklassifikation von Wald und nicht bewaldeten Flächen zu überprüfen. Dieses aus drei Teilen bestehende Produkt gibt Auskunft darüber, wie viel Prozent eines Pixels mit Bäumen, niedrigeren Vegetationstypen oder vegetationslosen Flächen bedeckt sind. Die Verwendung des VCF ermöglicht dadurch eine Fuzzy-Klassifizierung, durch die einem Pixel mehrere Landbedeckungsklassen mit ihren prozentualen Anteilen pro Pixel, zugewiesen werden können. Um dies zu realisieren, wurde die FE-Karte an dieser Stelle ebenfalls in drei separate Karten mit der Angabe des prozentualen Anteils der je-

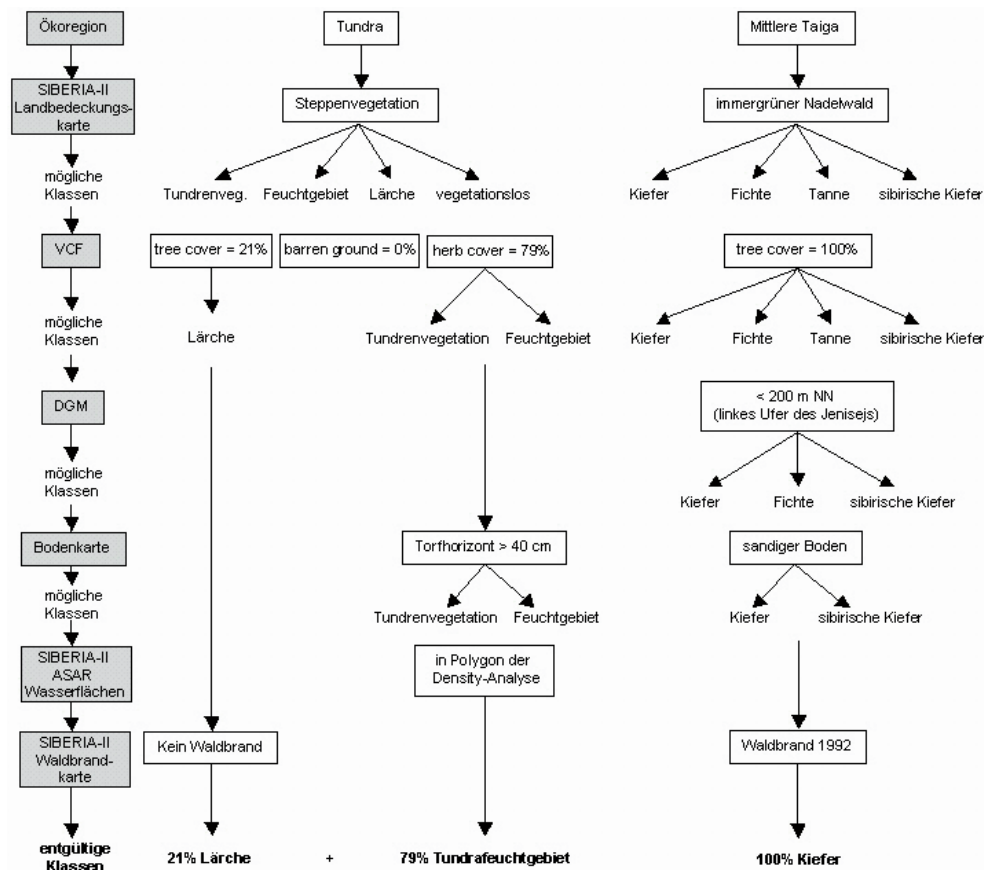
weiligen Klasse am Pixel aufgeteilt, und zwar in eine Waldkarte, eine Karte für alle weiteren Vegetationsarten und eine Karte für den Anteil an unbewachsenen und somit, bezüglich des Kohlenstoffaustausches, unrelevanten Flächen.

Der erste Satz an Klassifizierungsregeln, der über eine Verfeinerung der Eingangsklassen entscheidet, bezieht sich auf die Topographie und nutzt ein digitales Geländemodell aus SRTM und Gtopo'30-Daten als Informationsträger. Dadurch konnten z. B. anhand von Höhenstufen in Gebirgen verschiedene Baumtypen klassifiziert werden.

Durch IIASA stand eine GIS-basierte Bodendatenbank im Maßstab 1:1 Million (ROJKOV et al. 2003) zur Verfügung, welche

für jeden Bodentyp horizontweise Informationen über Mächtigkeit, Bodenart, sowie bodenchemische und -physikalische Eigenschaften enthält. Mit Hilfe dieser Informationen konnten Böden mit mächtigen Torfhorizonten selektiert werden (> 40 cm), die der Ableitung von Feuchtgebieten dienen. Daneben wurde die Bodendatenbank genutzt, um Baumarten aufgrund bevorzugter Bodenarten gegeneinander abzugrenzen.

Wasserflächen, abgeleitet aus Envisat/ASAR-Daten mit einer Auflösung von 150 m (BARTSCH et al., im Druck), wurden zur Verfeinerung des Eingangsdatensatzes bezüglich Flussverläufen und Seen verwendet. Vor allem im Norden des Untersuchungsgebiets befindet sich eine große Anzahl kleiner Seen,



**Abb. 2:** Ablaufschema der Datenfusion und schrittweisen Post-Klassifizierung der SIBERIA-II Landbedeckungskarte beispielhaft für ein fehlklassifiziertes Pixel in der Ökoregion „Tundra“ und ein als immergrüner Nadelwald klassifiziertes Pixel in der Ökoregion „mittlere Taiga“.

die in der 500 m MODIS-Auflösung nicht erfasst werden. Da diese Seen aber sowohl im Sommer als auch im Winter Methan emittieren, sollten sie nicht vernachlässigt werden. Durch eine Density-Analyse dieser kleinen Seen, welche nach Ramsar-Klassifikationsschema in subarktischen Regionen auf Tundrenfeuchtgebiete hinweisen, konnten BARTSCH et al. (im Druck) die Seen zu einem Polygon zusammenfassen, welches sie als Tundrafeuchtgebiet klassifizierten. Durch Verschneidung dieses Polygons mit der Torfmächtigkeit der genannten Bodenkarte wurden die Feuchtgebiete im nördlichen Teil des Untersuchungsgebietes abgeleitet.

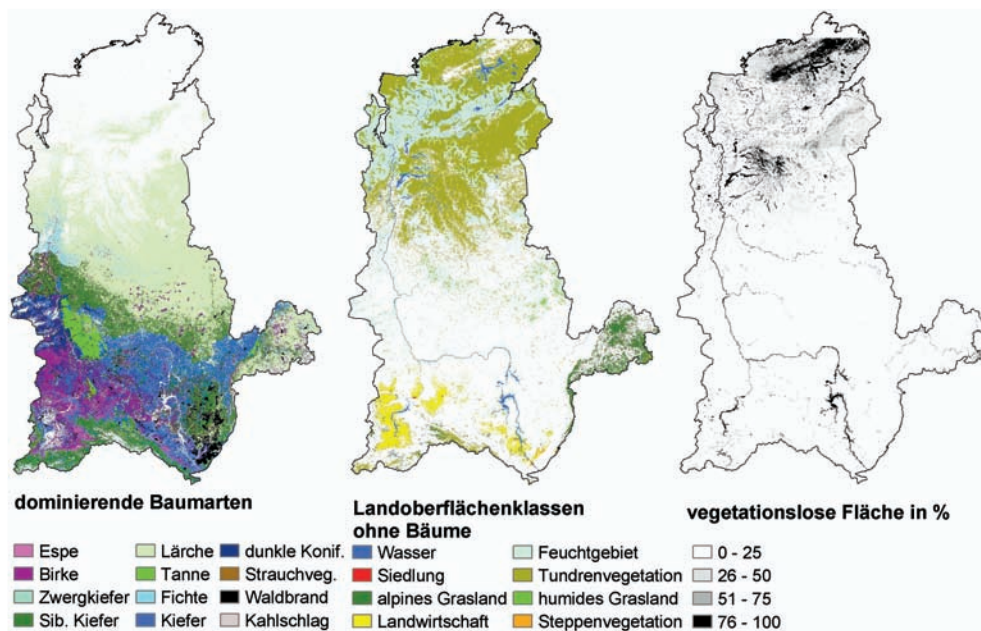
Des Weiteren stand durch SIBERIA-II für die Erfassung gerodeter und verbrannter Flächen eine Waldbrand-Karte aus SPOT-VGT, MODIS, AVHRR und ATSR-Daten (BALZTER et al. 2005) für die Jahre 1992 bis 2003 zur Verfügung. Mit Hilfe dieser Information konnten geschädigte Waldgebiete identifiziert und je nach Alter und räumli-

cher Lage der Schädigung die Pionierarten Birke, Lärche und Kiefer klassifiziert werden. Zusätzlich konnten Flächen als Kahlschläge identifiziert werden, die im Ausgangsdatensatz (der SIBERIA-II Landbedeckungskarte) falsch als landwirtschaftliche Flächen klassifiziert wurden.

Die schrittweise Fusion der verschiedenen Datensätze und Umsetzung der Entscheidungsregeln für die Post-Klassifizierung der SIBERIA-II Landbedeckungskarte ist anhand von zwei Beispielen schematisch in Abb. 2 dargestellt. Die technische Umsetzung erfolgte im Geoinformationssystem ArcInfo (ESRI, Inc.) und wurde durch eine mit AML (ArcInfo Macro Language) geschriebene Routine automatisiert.

## 5 Ergebnisse und Diskussion

Das Ergebnis der beschriebenen regelbasierten Post-Klassifizierung ist eine Landbedeckungskarte mit 500 m räumlicher Auflö-



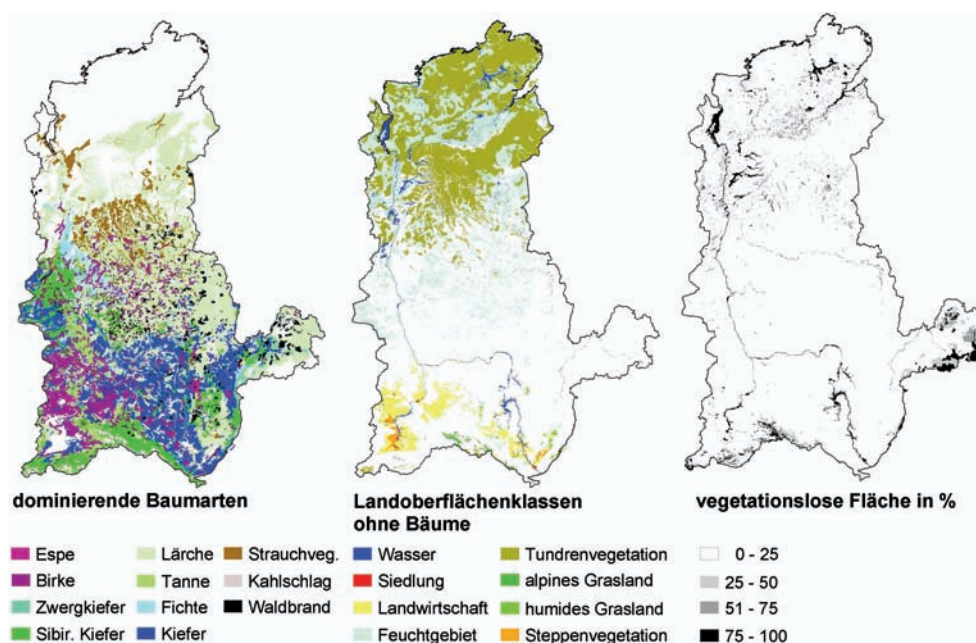
**Abb. 3:** Ergebnis der regelbasierten Post-Klassifizierung: Rasterkarte mit 500 m räumlicher Auflösung, bestehend aus den Karten der a) Verteilung verschiedener Baumarten (dunkle Koniferen = Fichte, Tanne, Sibirische Kiefer, welche nicht trennbar waren), b) Verteilung baumloser Vegetationstypen (Landwirtschaft, Feuchtgebiet, Tundren- und Steppenvegetation wurden aus 25 Klassen aggregiert), c) Verteilung von vegetationslosen Flächen, hier dargestellt in prozentalem Anteil jedes einzelnen Pixels.

sung für das Jahr 2003, die aus drei separaten Rasterdatensätzen für die Verteilung verschiedener Baumarten, baumloser Vegetationstypen sowie unbewachsener Flächen besteht (Abb. 3). Zusätzlich zur Landbedeckungskategorie enthalten die drei Karten den prozentualen Anteil der jeweiligen Klasse in jedem einzelnen Pixel. Mit 42 Klassen ist die Klasseneinteilung detaillierter als bei bisher existierenden fernerkundungsbasierten Landbedeckungskarten. Aufgrund der Verwendung der gleichen Klassendefinitionen wie IIASA kann die erzeugte Landbedeckungskarte direkt als Modellinput für die Kohlenstoffbilanzierung im Untersuchungsgebiet angewendet werden.

Der visuelle Vergleich dieses Produktes mit IIASAs inventurbasierter Vegetationsdatenbank (Abb. 4) zeigt gute Übereinstimmung der räumlichen Muster der Vegetationsverteilung und besonders der dominierenden Baumarten.

Der pixelbasierte Vergleich der absoluten räumlichen Lage der Klassen zeigt je nach Ökoregion bis zu 50% räumliche Überein-

stimmung. Dieser scheinbar niedrige Wert lässt sich durch die unterschiedliche Datenrepräsentation des rasterbasierten Fernerkundungsproduktes gegenüber den zum Teil stark generalisierten Polygonen der IIASA-Datenbank erklären. Die größten Unterschiede zwischen beiden Karten treten im nördlichen Teil des Untersuchungsgebietes auf und beruhen zum einen auf unterschiedlichen Klassendefinitionen, zum anderen auf größeren Ungenauigkeiten der IIASA-Karte in diesem waldlosen Gebiet. Da die IIASA-Karte vornehmlich auf Forstinventurdaten beruht, standen ihr für die Kartierung dieses Gebietes weniger Informationen zur Verfügung. So zeigt die regelbasierte FE-Karte im Norden des Untersuchungsgebietes deutlich mehr Feuchtgebiete und weniger Tundravegetation als die IIASA-Karte, was durch die an die Ramsar-Klassifizierung angelehnte Definition der Klasse „Tundrafeuchtgebiet“ erklärbar ist. Ein weiterer Unterschied in dieser nördlichen Region, der ebenfalls auf unterschiedliche Klassendefinitionen zurückgeführt werden

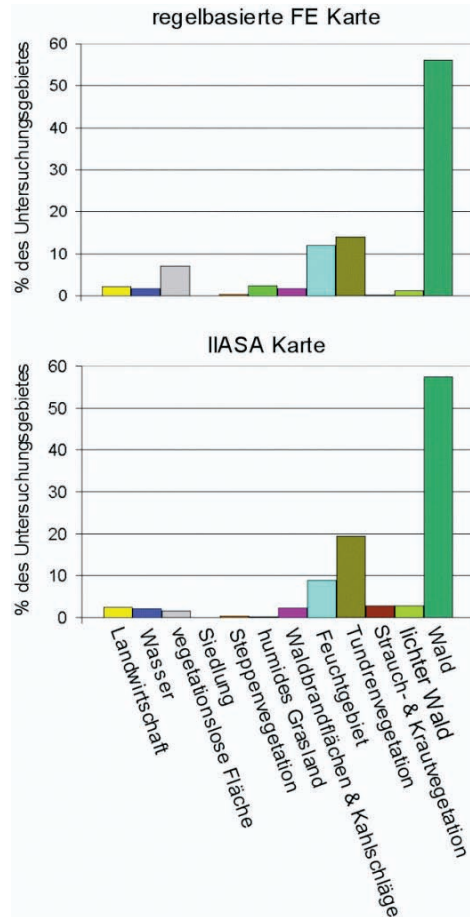


**Abb. 4:** IIASAs polygonbasierte Vegetationskarte im Maßstab 1:1 Million, a) Verteilung verschiedener Baumarten, b) Verteilung anderer Vegetationsarten, hier aggregiert zu Oberklassen, c) vegetationslose Flächen, hier dargestellt in prozentualem Anteil am Polygon.

kann, ist der deutlich höhere Anteil an vegetationslosen Flächen im fernerkundungs-basierten Produkt. Nach dem MODIS VCF sind große Teile im subarktischen Norden des Untersuchungsgebietes vegetationsfrei. Diese Gebiete wurden vom IIASA als „spoty tundra“, also vegetationslose Gebiete mit kleineren durch Moose und Flechten bewachsenen Flächen, klassifiziert. Im Gegensatz dazu zeigt die IIASA-Karte größere unbewachsene Flächen im östlichen Zipfel des Untersuchungsgebietes, die in der fernerkundungs-basierten Karte als alpines Grasland klassifiziert wurden. Während die Klassifizierung im Fernerkundungsprodukt auf strikten Regeln basiert, scheint die Klassifizierung der IIASA-Karte bearbeiterabhängig zu sein und unterschiedliche Grenzwerte für die Definition von vegetationslosen Flächen aufzuweisen.

Ein weiterer auffälliger Unterschied zwischen FE-Karte und IIASA-Karte ist der höhere Anteil an Strauchvegetation in der IIASA-Karte im mittleren Teil des Untersuchungsgebietes. Da die Unterscheidung zwischen Bäumen und Sträuchern nur auf der Höhe der Pflanzen beruht, welche aus dem VCF nicht hervorgehen, sind diese Flächen in der FE-Karte zum Teil als Lärche und zum Teil als Strauchtundra klassifiziert. Da die einzelnen Typen der Klasse „Strauchvegetation“ der IIASA-Karte ebenfalls Zwergformen von Lärchen und Tundrensträuchern enthalten, sind diese Unterschiede vernachlässigbar.

Die genannten Unterschiede schlagen sich auch auf die für die Kohlenstoffbilanzierung besonders wichtige Flächenverteilung der einzelnen Vegetationsklassen nieder. Die Histogramme in Abb. 5 zeigen die Flächenanteile aggregierter Landbedeckungsklassen der FE-Karte und der IIASA-Karte. Die Klassen „vegetationslose Flächen“, „humides Grasland“ (zusammengefasst mit „alpinem Grasland“), „Feuchtgebiet“, „Tundrenvegetation“ und „Strauchvegetation“ nehmen unterschiedliche Flächenanteile in beiden Karten ein. Dagegen ist die Fläche der am stärksten vertretene Klasse „Wald“ mit 1,75 Mio. km<sup>2</sup> (FE-Karte) und 1,82 Mio. km<sup>2</sup> (IIASA-Karte)

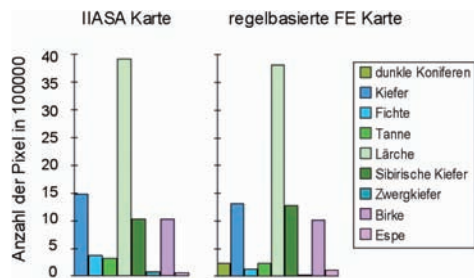


**Abb. 5:** Anteile der einzelnen Landbedeckungsklassen an der Gesamtfläche des Untersuchungsgebietes.

te) in beiden Produkten vergleichbar. Das Gleiche gilt für die Aufteilung der Waldfläche auf die verschiedenen Baumarten, dargestellt in Abb. 6. Lediglich ein geringer Teil (7,5%) der immergrünen Nadelwälder konnte in der mittleren Taiga nicht eindeutig in einzelne Baumarten getrennt werden, sondern nur als dunkle Koniferen (Fichte, Tanne, Sibirische Kiefer) klassifiziert werden. Um diesen Anteil ist daher die Fläche der Klassen „Fichte“ und „Tanne“ in Abb. 6 geringer als in der IIASA-Karte.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass im Gegensatz zur IIASA-Methode der





**Abb. 6:** Flächenanteile der im Untersuchungsgebiet vorkommenden Baumarten (dunkle Koniferen = Fichte, Tanne, Sibirische Kiefer, welche nicht trennbar waren).

Erstellung der Vegetationskarte, die vorgestellte fernerkundungsbasierte Klassifizierung aufgrund ihrer strikten Entscheidungsregeln und der Automatisierung wiederholbar und auf andere Jahre als 2003 anwendbar ist. Dies ist die Voraussetzung für eine kontinuierliche Modellierung und einen Vergleich der Kohlenstoffflüsse auf jährlicher Basis.

### Danksagung

Diese Arbeit ist Bestandteil einer Doktorarbeit am Lehrstuhl für Fernerkundung der Universität Jena, die durch ein Promotionsstipendium der Studienstiftung des Deutschen Volkes finanziert wird. Die Idee und das Konzept entstanden während des Young Scientist Summer Programm 2005 am International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Österreich. Hier soll besonders ANATOLY SHVIDENKO und IAN MCCALLUM für die inhaltliche und technische Unterstützung gedankt werden.

### Literatur

- BALZTER, H., GERARD, F.F., GEORGE, C.T., ROWLAND, C.S., JUPP, T.E., MCCALLUM, I., SHVIDENKO, A., NILSSON, S., SUKHININ, A., ONUCHIN, A. & SCHMULLIUS, C., 2005: Impact of the Arctic Oscillation pattern on inter-annual forest fire variability in Central Siberia. – *Geophysical Research Letters* **32** (14): L14709.
- BARTSCH, A., PATHE, C., SCIPAL, K. & WAGNER, W. (im Druck): Detection of permanent open

water surfaces in central Siberia with ENVISAT ASAR wide swath data with special emphasis on the estimation of methane fluxes from tundra wetlands. – eingereicht bei *Nordic Hydrology*.

- HANSEN, M.C., DEFRIES, R.S., TOWNSEND, J.R.G., CARROLL, M., DIMICELI, C. & SOHLBERG, R.A., 2003: Global Percent Tree Cover at a Spatial Resolution of 500 Meters: First Results of the MODIS Vegetation Continuous Field Algorithm. – *Earth Interactions*, **7** (10): 1–15.
- KHARUK, V.I., RANSON, K.J., BURENINA, T.A. & FEDOTOVA, E.V., 2003: Mapping of Siberian forest landscapes along the Yenisey transect with AVHRR. – *International Journal Remote Sensing* **24**: 23–37.
- KUZMENKO, E.I., 2003: Structure, Spatial and Temporal Dynamics and Mapping of the Southern Taiga Forests in Mid-Siberia. – *Proceedings of Map Asia Conference 2003*, 13.–15. Oktober 2003, Kuala Lumpur, (<http://www.gisdevelopment.net/application/nrm/overview/pdf/ma03121.pdf>)
- OHMAN, J. & GREGORY, M., 2002: Predictive Mapping of forest composition and structure with direct gradient analysis and nearest-neighbor imputation in coastal Oregon, U.S.A. – *Canadian Journal of Forest Research* **32**: 725–741.
- PFEFFER, K., PEBESMA, E.J. & BURROUGH, P.A., 2003: Mapping alpine vegetation using vegetation observations and topographic attributes. – *Landscape ecology* **8**: 759–776.
- ROJKOV, V.A., GORSHKOVA, M.A., RUKHOVICH, D.I., KOVALEVA, P.V., NILSSON, S., SHVIDENKO, A. & MCCALLUM, I., 2003: Deliverable 21 – Soil map and database, and Deliverable 22 – Accuracy assessment of soil map. – unveröffentlichte Deliverables des SIBERIA-II Projektes.
- SCHMULLIUS, C., HESE, S. & KNORR, D., 2003: SIBERIA-II: A Multi-Sensor Approach for Greenhouse Gas Accounting in Northern Eurasia. – *Petermanns Geographische Mitteilungen* **147**: 4–5.
- SCHULTZ, J., 1995: *The Ecozones of the World. – The ecological deviations of the Geosphere*, 449 S., Springer, Berlin.
- SHVIDENKO, A. & NILSSON, S., 2003: A synthesis of the impact of Russian forests on the global carbon budget for 1961–1998. – *Tellus* **55B**: 391–415.
- SHVIDENKO A., SHEPASHENKO D., NILSSON S. & BOULOUT YU., angenommen: Semi-empirical models for assessing biological productivity of

- Northern Eurasia forests. – Ecological Modelling (angenommen)
- SKINNER, L. & LUCKMAN, A., 2004: Introducing a land cover map of Siberia derived from MERIS and MODIS data. – Proceedings of IGARSS'04, Anchorage, 20–24 September, pp. 223–226.
- VOGIATZAKIS, I.N., 2003: GIS-based Modelling and Ecology: A Review of Tools and Methods. – Geographical Paper No. 170, Department of Geography, The University of Reading, Whiteknights ([www.geog.reading.ac.uk/Research/Papers/GP170.pdf](http://www.geog.reading.ac.uk/Research/Papers/GP170.pdf)).

Anschriften der Autoren:

Dipl.-Geogr. DANIELA KNORR  
Prof. Dr. CHRISTIANE SCHMULLIUS  
Abteilung Fernerkundung  
Institut für Geographie  
Friedrich-Schiller-Universität Jena  
Löbdergraben 32, D-07743 Jena  
Tel.: 03641/948878, Fax: 03641/948882  
e-mail: [daniela.knorr@uni-jena.de](mailto:daniela.knorr@uni-jena.de)  
[c.schmullius@uni-jena.de](mailto:c.schmullius@uni-jena.de)

Manuskript eingereicht: Juli 2006

Angenommen: August 2006

## Fortpflanzung der „Unschärfe“ von Messdaten auf abgeleitete differential-geometrische Größen

OLGA WÄLDER, Dresden

**Keywords:** GeoInformatics, fuzzy value, fuzzy-propagation, surface approximation, surface deformation analysis

**Zusammenfassung:** Die meisten Messungen stellen aus mathematischer Sicht unscharfe Größen dar, weil bei ihrer Erfassung keine absolute Präzision gewährleistet werden kann. Manchmal gelingt es, statistische Tests zu entwickeln, die empfindlich auf das Auftreten von groben Abnormitäten in räumlich-zeitlichen Datenreihen reagieren, siehe WÄLDER (2005a, b), WAELDER & BUCHROITHNER (2004). Die „Unschärfe“ von Daten kann aber auch mit Hilfe von in der Fuzzy-Theorie entwickelten Werkzeugen modelliert werden.

Nun reicht es normalerweise nicht aus, erhaltene Messungen in ein GIS zu übertragen. In vielen Fällen werden diese Daten weiter auf ein Gitter interpoliert, sie können zu einer analytischen Oberfläche zusammengefasst werden, man interessiert sich für die Ableitungen erster oder höherer Ordnungen dieser analytischen Oberfläche usw. Einige Untersuchungen des Verhaltens unscharfer Oberflächen wurden bereits in KALEVA (1994), LODWICK & SANTOS (2003) durchgeführt. Die allgemeine Fragestellung lautet dann: Wie pflanzt sich die ursprüngliche „Unschärfe“ von Messungen auf einige von ihnen abgeleitete differential-geometrische Größen fort? In dieser Arbeit wird ein Ansatz zur Modellierung der Unschärfe-Fortpflanzung vorgestellt und anhand einer Fallstudie näher erläutert.

**Abstract:** *On fuzzy-propagation of measurements to derived differential-geometric characteristics.* From mathematical point of view, most measurements can be assumed to be fuzzy values because an absolute precision of a measurement cannot be guaranteed in the real world. There are some statistical tests, which are sensitive to the appearance of rough abnormalities in spatial time series, see WAELDER (2005a, b), WAELDER & BUCHROITHNER (2004).

The uncertainty of measurements can also be modeled using approaches from the fuzzy theory. Real measurements can be considered to be fuzzy values from mathematical point of view. Real measurements present a “raw material” for further researches. They can be interpolated over a grid and be approximated by an analytical surface. Additionally, it can be necessary to obtain some surface characteristics of higher order based on the grid. Some studies about fuzzy surfaces are still presented in KALEVA (1994), LODWICK & SANTOS (2003). It is clear, that each characteristic which is derived from uncertain measurements is also uncertain. In this paper we discuss a method of the fuzzy-propagation of measurements to derived differential-geometric characteristics.

---

### 1 Einige Definitionen aus der Fuzzy-Theorie

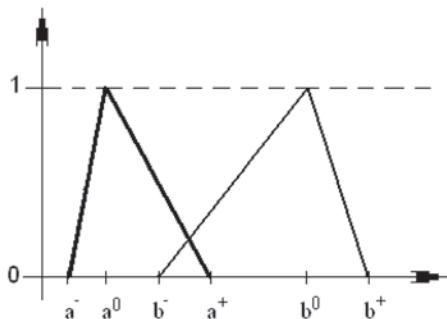
Die „Unschärfe“ von Daten kann unter anderem mit Hilfe von in der Fuzzy-Theorie entwickelten Werkzeugen modelliert werden. Zu diesen Werkzeugen gehört das so genannte Intervallkalkül. Eine Messung als mathematisches Objekt wird in Form eines Intervalls dargestellt, dessen Unter- und Ober-

grenze den zu erwartenden Rahmen für eine reale Messung angeben. Durch die variable Breite des Intervalls wird dabei der von Null abweichende Messfehler einer realen Messung wiedergegeben. Ein solches Modell ist im Grunde genommen das Einfachste für eine Fuzzy-Zahl.

Eine unscharfe Zahl kann als ungenau gegebene oder ungenau bestimmte Zahlen definiert werden. Unschärfe Zahlen werden

durch konvexe unscharfe Mengen beschrieben und ihre Zugehörigkeitsfunktion weist keine Nebenmaxima auf, s. BANDEMER & GOTTWALD (1993). Für unscharfe Intervalle ist der Kern ein Intervall. Die unscharfen Zahlen und Intervalle verallgemeinern daher die Ansätze der Intervallarithmetic, die aus der traditionellen Fehlerrechnung hervorgegangen ist. Nun rechnet man gleich mit durch die Fehlerschranken gegebenen Intervallen statt mit fehlerbehafteten reellen Zahlen. Kernpunkt dieses Übergangs ist die Idee, dass die Intervallpunkte „scharf“ gegeben sein müssen. Für die gewöhnliche Intervallarithmetic kann z. B. auf ALEFELD & HERZBERGER (1974) verwiesen werden. Um mit unscharfen Zahlen und Intervallen rechnen zu können, müssen zunächst einige Grundrechenarten hierfür erklärt werden, die in den weiteren Abschnitten verwendet werden. Durch die Operationen mit unscharfen Zahlen, die wir benutzen werden, entstehen neue unscharfe Zahlen, unscharfe Intervalle mit eigenen scharfen Grenzen. Wie in LODWICK & SANTOS (2003) werden wir uns nicht für die genaue Form der entsprechenden Zugehörigkeitsfunktionen interessieren, sondern vielmehr für die Bestimmung von der Unter- bzw. Obergrenze der abgeleiteten Intervalle und von ihren „Zentren“: Wir bezeichnen so die Stellen, an welchen entsprechende die Zugehörigkeitsfunktionen ihre Maxima aufweisen.

Mit  $A = [a^-, a^0, a^+]$  und  $B = [b^-, b^0, b^+]$  bezeichnen wir zwei unscharfe Intervalle.



**Abb. 1:** Schematische Darstellung zweier unscharfer Intervalle  $A = [a^-, a^0, a^+]$  und  $B = [b^-, b^0, b^+]$  sowie ihrer Zugehörigkeitsfunktionen.

Die untere sowie obere Grenze und das „Zentrum“ eines unscharfen Intervalls werden als seine Parameter bezeichnet. Sie und ihre Zugehörigkeitsfunktionen sind in Abb. 1 schematisch dargestellt.

Wir benötigen die folgenden Operationen mit unscharfen Intervallen  $A, B$ : Summe  $A + B$ , Differenz  $A - B$ , Produkt  $A \cdot B$  und Subtraktion  $A/B$ . Als Ergebnis dieser Operationen entsteht eine neue unscharfe Zahl, ein Intervall  $C = [c^-, c^0, c^+]$ , für welches gilt:

$$\begin{aligned}
 C = A + B: \\
 c^- &= a^- + b^- \\
 c^0 &= a^0 + b^0 \\
 c^+ &= a^+ + b^+ \\
 \\
 C = A - B: \\
 c^- &= a^- - b^+ \\
 c^0 &= a^0 - b^0 \\
 c^+ &= a^+ - b^-
 \end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
 C = A \cdot B: \\
 c^- &= \min\{a^- b^-, a^+ b^-, a^- b^+, a^+ b^+\} \\
 c^0 &= a^0 b^0 \\
 c^+ &= \max\{a^- b^-, a^+ b^-, a^- b^+, a^+ b^+\}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C = A/B: \text{ nur für } b^- > 0 \text{ oder } b^+ < 0 \\
 c^- &= \min\{a^-/b^-, a^+/b^-, a^-/b^+, a^+/b^+\} \\
 c^0 &= a^0/b^0 \\
 c^+ &= \max\{a^-/b^-, a^+/b^-, a^-/b^+, a^+/b^+\}
 \end{aligned}$$

Zusätzlich kann das Quadrat  $C = A^2$  und die Wurzel  $C = \sqrt{A}$  eines unscharfen Intervalls definiert werden, für das gilt:

$$\begin{aligned}
 C = A^2 = A \cdot A: \\
 \left\{ \begin{aligned}
 c^- &= \min\{a^- a^-, a^+ a^+\}, \quad c^0 = (a^0)^2 \\
 c^+ &= \max\{a^- a^-, a^+ a^+\} \\
 &\text{für } a^- \geq 0 \text{ oder } a^+ \leq 0
 \end{aligned} \right. \\
 \left\{ \begin{aligned}
 c^- &= 0, \quad c^0 = (a^0)^2 \\
 c^+ &= \max\{a^- a^-, a^+ a^+\} \\
 &\text{für } a^- < 0 \text{ und } a^+ > 0
 \end{aligned} \right.
 \end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned}
 C = \sqrt{A}: \text{ nur für } a^- \geq 0 \\
 c^- &= \sqrt{a^-} \\
 c^0 &= \sqrt{a^0} \\
 c^+ &= \sqrt{a^+}
 \end{aligned} \tag{2'}$$

## 2 Mathematische Modellierung von unscharfen Oberflächen

Wir gehen im weiteren davon aus, dass unscharfe Hohennmessungen  $\tilde{z}_i = [z_i^-, z_i^0, z_i^+]$ :  $i = 1, \dots, n$  an scharfen Koordinaten  $(x_i, y_i)$ :  $i = 1 \dots n$  vorliegen. Wenn diese Daten auf ein scharfes Gitter  $\{X_j, Y_k\}$ :  $j = 1 \dots N$ ,  $k = 1 \dots M$  interpoliert werden, so sind die interpolierten Hohenn  $\tilde{Z}_{jk} = [Z_{jk}^-, Z_{jk}^0, Z_{jk}^+]$  an den Knoten des Gitters wiederum unscharf. Es hängt vom Interpolationsverfahren ab, welche Parameter diese neuen unscharfen Intervalle erhalten.

Bei jeder distanzabhängigen (scharfen!) Gewichtung der ursprünglichen Messwerte erhalten wir stets:

$$\begin{aligned} \tilde{Z}_{jk} &= \alpha_1^{jk} \tilde{z}_1 + \alpha_2^{jk} \tilde{z}_2 + \dots + \alpha_n^{jk} \tilde{z}_n \\ \sum_{i=1}^n \alpha_i^{jk} &= 1, \quad \alpha_i^{jk} = \text{Fkt}(d_i^{jk}) \\ d_i^{jk} &= (x_i - X_j)^2 + (y_i - Y_k)^2 \\ i &= 1 \dots n \\ j &= 1 \dots N \\ k &= 1 \dots M \end{aligned} \tag{3}$$

Die Abkürzung „Fkt“ wird in (3) für „eine Funktion von“ benutzt. Werden hier inverse Quadrate von Distanzen zur Berechnung der Gewichte hergezogen, so entspricht (3):

$$\begin{aligned} \tilde{Z}_{jk} &= \alpha_1^{jk} \tilde{z}_1 + \alpha_2^{jk} \tilde{z}_2 + \dots + \alpha_n^{jk} \tilde{z}_n \\ \alpha_i^{jk} &= \frac{w_i^{jk}}{\sum_{i=1}^n (w_i^{jk})}, \quad w_i^{jk} = \frac{1}{d_i^{jk} + \varepsilon} \\ \varepsilon &> 0 \\ i &= 1 \dots n, \quad j = 1 \dots N, \quad k = 1 \dots M \end{aligned} \tag{4}$$

Durch eine „künstliche“ Konstante  $\varepsilon$  kann in (4) verhindert werden, dass ein Gewicht unbestimmt ist, wenn die Vorhersagestelle mit einer Messstelle zusammenfällt. Weil alle in (4) verwendeten Gewichte positiv sind, können die Parameter von unscharfen interpolierten Hohennmessungen wie folgt berechnet werden, vgl. (1):

$$\begin{aligned} Z_{jk}^- &= \alpha_1^{jk} z_1^- + \alpha_2^{jk} z_2^- + \dots + \alpha_n^{jk} z_n^- \\ &= \sum_{i=1}^n \alpha_i^{jk} z_i^- \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{jk}^0 &= \alpha_1^{jk} z_1^0 + \alpha_2^{jk} z_2^0 + \dots + \alpha_n^{jk} z_n^0 \\ &= \sum_{i=1}^n \alpha_i^{jk} z_i^0 \\ Z_{jk}^+ &= \alpha_1^{jk} z_1^+ + \alpha_2^{jk} z_2^+ + \dots + \alpha_n^{jk} z_n^+ \\ &= \sum_{i=1}^n \alpha_i^{jk} z_i^+ \\ i &= 1 \dots n, \quad j = 1 \dots N, \quad k = 1 \dots M \end{aligned} \tag{5}$$

**Kommentar:** Um die weiteren Auslegungen nicht unnötig zu überfrachten, werden Kleinbuchstaben im weiteren Text auch für Gitterkoordinaten  $\{X_j, Y_k\}$ :  $j = 1 \dots N$ ,  $k = 1 \dots M$  verwendet.

**Bemerkung:** Falls die Koordinaten der Punkte **auch unscharf** sind, verwendet man in (4) die in (1) eingeführten Operationen mit unscharfen Zahlen.

Viele GIS-Tools verwenden Differenzbildungen statt klassischen Ableitungen. Nach diesem Prinzip funktionieren auch die meisten Filter. Die Fortpflanzung der „Unscharfheit“ kann in einem solchen Fall folgendermaßen verfolgt werden:

### 1. Mittelwertbildung

Hier wird meist die folgende Summe berechnet (nicht nur mit positiven Gewichten!):

$$\begin{aligned} \tilde{m} &= \sum_{j,k=1}^L \beta_{jk} \tilde{Z}_{jk} \\ \sum_{j,k=1}^L \beta_{jk} &= 1 \end{aligned} \tag{6}$$

Für die Breite des Fensters werden normalerweise  $L = 3, 5, \dots$  benutzt. Die Parameter des unscharfen Mittelwertes aus (6) sind:

$$\begin{aligned} m^- &= \sum_{\substack{j,k=1 \\ \beta_{jk} \geq 0}}^L \beta_{jk} z_i^- + \sum_{\substack{j,k=1 \\ \beta_{jk} < 0}}^L \beta_{jk} z_i^+ \\ m^0 &= \sum_{j,k=1}^L \beta_{jk} z_i^0 \\ m^+ &= \sum_{\substack{j,k=1 \\ \beta_{jk} \geq 0}}^L \beta_{jk} z_i^+ + \sum_{\substack{j,k=1 \\ \beta_{jk} < 0}}^L \beta_{jk} z_i^- \end{aligned} \tag{6'}$$

2. Partielle Ableitungen  
(in Form von Differenzen)

$$\begin{aligned}\tilde{\Delta}_x^{jk} &= \frac{1}{x_{j+1} - x_{j-1}} [\tilde{Z}_{(j+1)k} - \tilde{Z}_{(j-1)k}] \\ \tilde{\Delta}_y^{jk} &= \frac{1}{y_{k+1} - y_{k-1}} [\tilde{Z}_{j(k+1)} - \tilde{Z}_{j(k-1)}] \quad (7)\end{aligned}$$

$$j = 2 \dots N - 1, \quad k = 2 \dots M - 1$$

Die Parameter dieser unscharfen Größen sind:

$$\begin{aligned}\Delta_x^{jk-} &= \frac{1}{x_{j+1} - x_{j-1}} [\tilde{Z}_{(j-1)k}^- - \tilde{Z}_{(j-1)k}^+] \\ \Delta_x^{jk0} &= \frac{1}{x_{j+1} - x_{j-1}} [\tilde{Z}_{(j-1)k}^0 - \tilde{Z}_{(j-1)k}^0] \quad (7') \\ \Delta_x^{jk+} &= \frac{1}{x_{j+1} - x_{j-1}} [\tilde{Z}_{(j-1)k}^+ - \tilde{Z}_{(j-1)k}^-]\end{aligned}$$

$$j = 2 \dots N - 1, \quad k = 2 \dots M - 1$$

Die Parameter der partiellen Ableitungen nach  $y$  können analog bestimmt werden. Die höheren Ableitungen können rekursiv auf der Basis eines primären Gitters berechnet werden, wie z. B. für die  $p$ . Ordnung nach  $x$  bzw. nach  $y$ :

$$\begin{aligned}\tilde{\Delta}_{x(p)}^{jk} &= \frac{1}{x_{j+1} - x_{j-1}} [\tilde{\Delta}_{x(p-1)}^{(j+1)k} - \tilde{\Delta}_{x(p-1)}^{(j-1)k}] \\ \tilde{\Delta}_{y(p)}^{jk} &= \frac{1}{y_{k+1} - y_{k-1}} [\tilde{\Delta}_{y(p-1)}^{(j+1)k} - \tilde{\Delta}_{y(p-1)}^{(j-1)k}]\end{aligned} \quad (8)$$

mit Berücksichtigung der entsprechenden Verkleinerung des sekundären Gitters. Für ihre Parameter gilt dann (Ableitungen nach  $y$  analog):

$$\begin{aligned}\Delta_{x(p)}^{jk-} &= \frac{1}{x_{j+1} - x_{j-1}} [\Delta_{x(p-1)}^{(j+1)k-} - \Delta_{x(p-1)}^{(j-1)k+}] \\ \Delta_{x(p)}^{jk0} &= \frac{1}{x_{j+1} - x_{j-1}} [\Delta_{x(p-1)}^{(j+1)0} - \Delta_{x(p-1)}^{(j-1)0}] \quad (8') \\ \Delta_{x(p)}^{jk+} &= \frac{1}{x_{j+1} - x_{j-1}} [\Delta_{x(p-1)}^{(j+1)k+} - \Delta_{x(p-1)}^{(j-1)k-}]\end{aligned}$$

Zum Vergleich zweier zeitlich getrennter Epochen (in (9) durch [1] und [2] bezeichnet) können Verfahren der Deformationsanalyse

von Oberflächen herangezogen werden, siehe VOOSOGHI (2000). Wir möchten die Unschärfe von folgenden Charakteristiken diskutieren: Surface Dilatation und vom Quadrate des so genannten Surface Maximal Shear Strains. Dieses „Quadrat“ darf auch negativ werden, wenn Surface Maximal Shear Strain eine komplexe Zahl ist. Ihre Definitionen können (9) entnommen werden und entsprechen in unserem Fall:

$$\begin{aligned}DI\tilde{L} &= \tilde{\lambda}_1 + \tilde{\lambda}_2 \quad \text{und} \\ \tilde{\Gamma}^2 &= (\tilde{\lambda}_1 - \tilde{\lambda}_2)^2 \quad \text{mit} \\ \tilde{\lambda}_1 &= 0.5 \cdot (PA\tilde{R}_1 + \sqrt{PA\tilde{R}_1^2 - 4 \cdot PA\tilde{R}_2}) \\ \tilde{\lambda}_2 &= 0.5 \cdot (PA\tilde{R}_1 - \sqrt{PA\tilde{R}_1^2 - 4 \cdot PA\tilde{R}_2}) \quad (9)\end{aligned}$$

und

$$PA\tilde{R}_1 = tr(\tilde{E} \cdot \tilde{A}^{-1}), \quad PA\tilde{R}_2 = det(\tilde{E} \cdot \tilde{A}^{-1})$$

mit

$$\tilde{A} = \begin{pmatrix} 1 + (\tilde{\Delta}_x^{jk}[1])^2 & \tilde{\Delta}_x^{jk}[1] \cdot \tilde{\Delta}_y^{jk}[1] \\ \tilde{\Delta}_x^{jk}[1] \cdot \tilde{\Delta}_y^{jk}[1] & 1 + (\tilde{\Delta}_y^{jk}[1])^2 \end{pmatrix}$$

$$\tilde{C} = \begin{pmatrix} 1 + (\tilde{\Delta}_x^{jk}[2])^2 & \tilde{\Delta}_x^{jk}[2] \cdot \tilde{\Delta}_y^{jk}[2] \\ \tilde{\Delta}_x^{jk}[2] \cdot \tilde{\Delta}_y^{jk}[2] & 1 + (\tilde{\Delta}_y^{jk}[2])^2 \end{pmatrix}$$

$$\tilde{E} = 0.5(\tilde{C} - \tilde{A})$$

Aus (9) kann man sehen, dass

$$\begin{aligned}DI\tilde{L} &= PA\tilde{R} \\ \tilde{\Gamma}^2 &= PA\tilde{R}_1^2 - 4 \cdot PA\tilde{R}_2 \quad (9')\end{aligned}$$

Nach einigen Vereinfachungen in (9) erhält man:

$$\begin{aligned}DI\tilde{L} &= PA\tilde{R}_1 = 0.5 \cdot tr(\tilde{C} \cdot \tilde{A}^{-1} - E) \\ &= 0.5 \cdot tr(\tilde{C} \cdot \tilde{A}^{-1}) - 1 \\ &= \frac{1}{2(1 + (\tilde{\Delta}_x^{jk}[1])^2 + (\tilde{\Delta}_y^{jk}[1])^2)} \times \quad (10)\end{aligned}$$

$$\left[ \begin{aligned} &(1 + (\tilde{\Delta}_x^{jk}[2])^2) \cdot (1 + (\tilde{\Delta}_y^{jk}[1])^2) \\ &- 2\tilde{\Delta}_x^{jk}[2] \tilde{\Delta}_y^{jk}[2] \tilde{\Delta}_x^{jk}[1] \tilde{\Delta}_y^{jk}[1] \\ &+ (1 + (\tilde{\Delta}_y^{jk}[2])^2) \cdot (1 + (\tilde{\Delta}_x^{jk}[1])^2) \end{aligned} \right] - 1$$

und

$$\begin{aligned}PA\tilde{R}_2 &= 0.5^2 \cdot det(\tilde{C} \cdot \tilde{A}^{-1} - E) \\ &= 0.25 \cdot (det(\tilde{C} \cdot \tilde{A}^{-1}) - tr(\tilde{C} \cdot \tilde{A}^{-1}) + 1) \\ &= 0.25 \cdot \left( \frac{det(\tilde{C})}{det(\tilde{A})} - tr(\tilde{C} \cdot \tilde{A}^{-1}) + 1 \right) \quad (11)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 0.25 \cdot \frac{\det(\tilde{C})}{\det(\tilde{A})} - 0.5 \cdot PA\tilde{R}_1 - 0.25 \\
&= \frac{1 + (\tilde{\Delta}_x^{jk}[2])^2 + (\tilde{\Delta}_y^{jk}[2])^2}{4(1 + (\tilde{\Delta}_x^{jk}[1])^2 + (\tilde{\Delta}_y^{jk}[1])^2)} \\
&\quad - 0.5 \cdot PA\tilde{R}_1 - 0.25
\end{aligned}$$

In den Relationen (10)–(11) werden somit nur die in (1) eingeführten Operationen mit scharfen Zahlen verwendet. Die in (10) und (11) präsentierten Herleitungen verwenden eine analytische Darstellung der Elemente einer inversen  $2 \times 2$ -Matrix.

Auf eine ähnliche Art und Weise kann die Unschärfe der weiteren differential-geometrischen Größen modelliert werden. Zum Beispiel setzt sich die Länge des Gradienten  $\tilde{Q}$  der unscharfen Oberfläche aus

$$\tilde{Q} = \sqrt{(\tilde{\Delta}_x^{ij})^2 + (\tilde{\Delta}_y^{ij})^2} \quad (12)$$

zusammen. Zu Berechnung der Parameter dieser unscharfen Größe können Operationen aus (1)–(2) und Relationen aus (7) benutzt werden.

In Abschnitt 3 wird die Fortpflanzung der Unschärfe von Hohemessungen auf die von ihnen abgeleiteten differential-geometrischen Größen an einem konkreten Beispiel präsentiert.

### 3 Eine Fallstudie: Hohemessungen am Blockgletscher Reichenkar in Tirol, Österreich

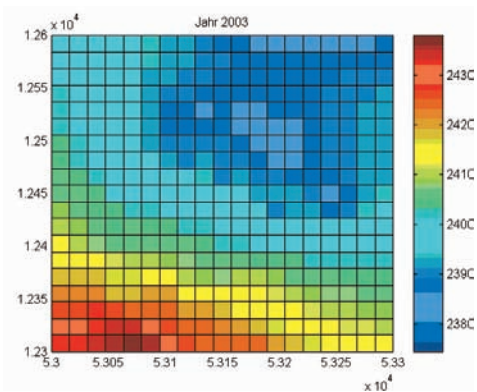
Frühere Untersuchungen am Blockgletscher Reichenkar wurden im Rahmen einer interdisziplinären Zusammenarbeit mit dem Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Innsbruck fortgesetzt. Die ausführliche Beschreibung des Datenmaterials kann in WÄLDER u. a. (2004) und WÄLDER (2005a) gefunden werden. Wir gehen hier kurz auf einige wichtige Details ein, die dem besseren Verständnis der weiteren Auslegungen beitragen sollen.

Reichenkar Blockgletscher liegt im Inneren Reichenkar, einem kleinen Seitental, das in Form eines Hangetales in das Sulztal mündet. Das Innere Reichenkar liegt ca. 4 km SE von Langefeld im otztal bzw.

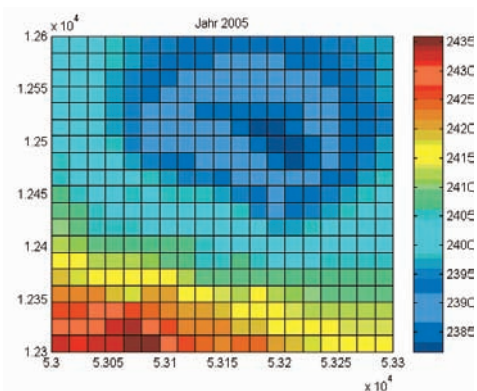
3 km S von Gries im Sulztal (westliche Stubai Alpen).

Zur Untersuchung des Bewegungsverhaltens dieses aktiven Blockgletschers wurden am Blockgletscher einige markierte Messpunkte (größere Felsblöcke mit eingemeielten und mit roter Farbe markierten Messmarken) vermessen.

Wir betrachten die Hohemessungen aus den Jahren 2003 und 2005 und gehen von einer konstanten Genauigkeit dieser Hohemessungen aus. Auf die Anfangszahl „52“ wird bei den  $y$ -Koordinaten (Gauß-Krüger Koordinatensystem) weiter verzichtet.



**Abb. 2a:** Parameter  $Z_{jk}^0$  der unscharfen Gitterwerte  $\tilde{Z}_{jk}$  laut (3') und (4) für das Jahr 2003. Die „Breite“ ihrer Unschärfe ist dabei konstant und beträgt 1.0 m.



**Abb. 2b:** Parameter  $Z_{jk}^0$  der unscharfen Gitterwerte  $\tilde{Z}_{jk}$  laut (3') und (4) für das Jahr 2005. Die „Breite“ ihrer Unschärfe ist dabei konstant und beträgt 1.0 m.

Die Höhenmessungen in den Jahren 2003 und 2005 werden als unscharfe Zahlen  $\tilde{z}_i$ ;  $i = 1 \dots n = 36$  mit  $\tilde{z}_i = [z_i^- = z_i^0 - 0.5, z_i^0, z_i^+ = z_i^0 + 0.5]$  modelliert. Im ersten Schritt

werden jährliche Höhenmessungen mit Hilfe der Methode der inversen Distanzen auf ein Gitter (ein „zungennahes“ Teilgebiet) interpoliert. Abb. 2a und 2b zeigen einen Parameter von den entsprechenden unscharfen Gitterwerten  $\tilde{Z}_{jk}$ ;  $i, j = 1 \dots N = 20$  aus (3') für entsprechende Jahre, die laut (4) berechnet werden. Zur Berechnung der Gewichte in (4) wird von  $\varepsilon = 0.6$  ausgegangen. Differenz zwischen den Parametern  $Z_{jk}^0$  in den Jahren 2003 und 2005 kann Abb. 3 entnommen werden.

Wir verwenden die Relationen (5)–(12) zur Berechnung von einigen – unscharfen – differential-geometrischen Größen für die Oberfläche des Reichenkar Blockgletschers in Abb. 4a, b, 5, 6.

Nun sollen die  $(x, y)$ -Koordinaten der Messungen auch **als unscharf** angesehen werden. Die Höhenmessungen in Jahren 2003 und 2005 werden als unscharfe Zahlen

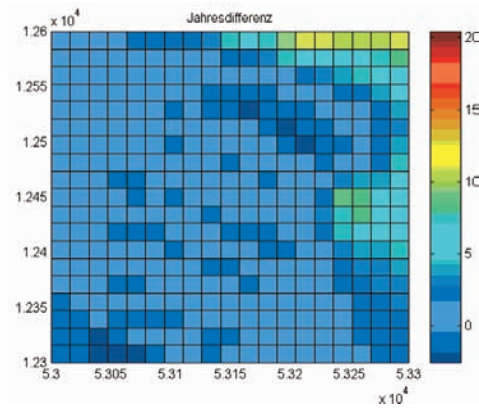


Abb. 3: Differenz zwischen den Parametern  $Z_{jk}^0$  in den Jahren 2003 und 2005.

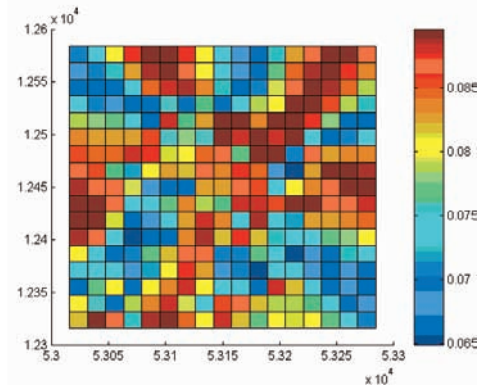
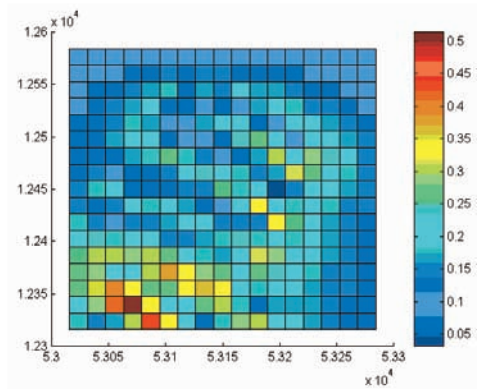


Abb. 4a: Gradientenlänge für das Jahr 2003 nach (12) und „Breite“ seiner Unschärfe.

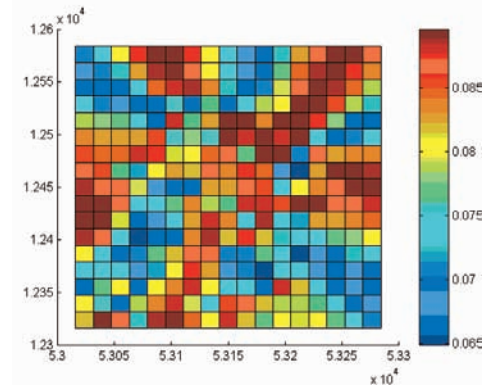
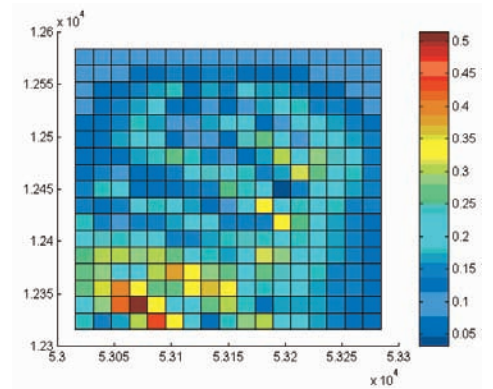
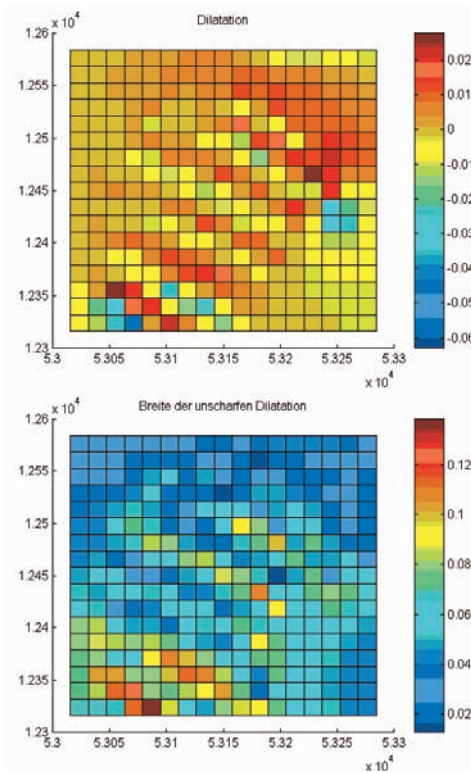
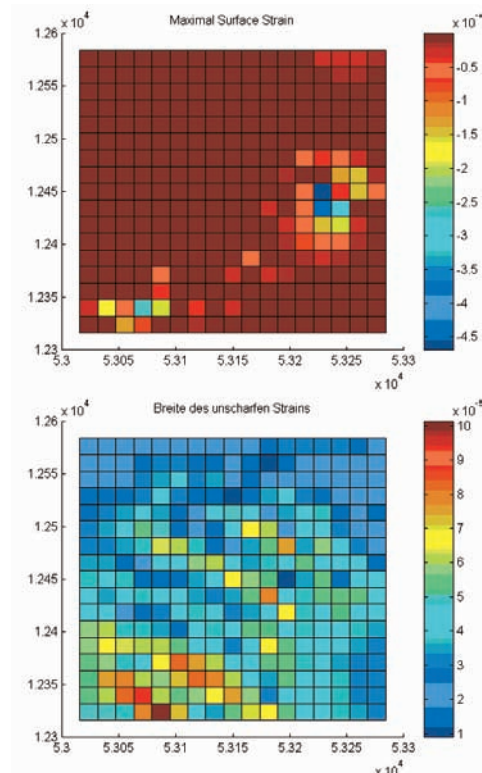


Abb. 4b: Gradientenlänge für das Jahr 2005 nach (12) und „Breite“ seiner Unschärfe.

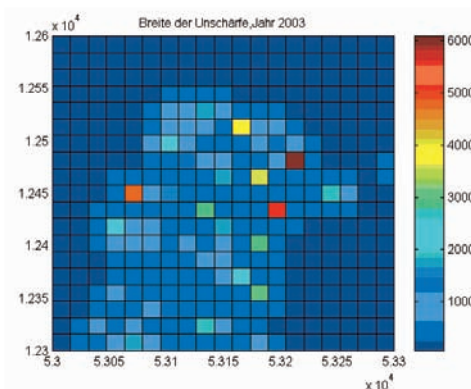




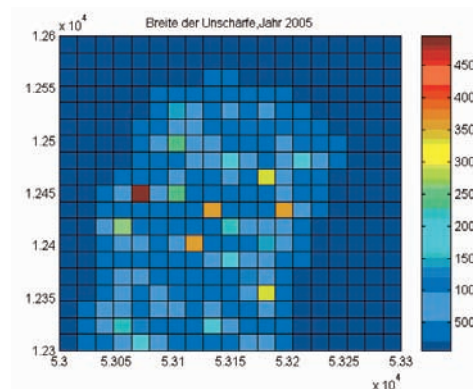
**Abb. 5:** Surface Dilatation für die Jahre 2003–2005 nach (10) und „Breite“ der Unschärfe.



**Abb. 6:** Quadrat des Surface Maximal Shear Strains für die Jahre 2003–2005 nach (9)–(11) und „Breite“ seiner Unschärfe.



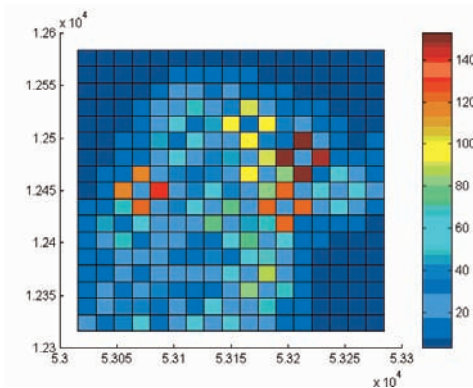
**Abb. 7a:** Breite der Unschärfe der Gitterwerte  $\tilde{Z}_{jk}$  für das Jahr 2003.



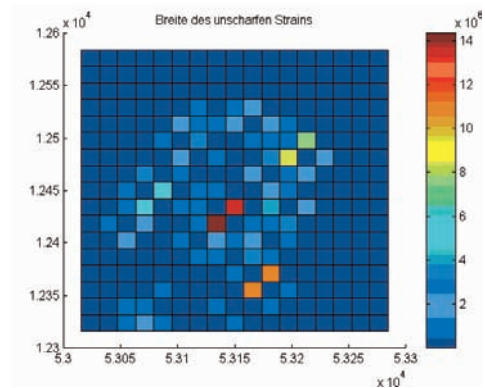
**Abb. 7b:** Breite der Unschärfe der Gitterwerte  $\tilde{Z}_{jk}$  für das Jahr 2005.

$\tilde{u}_i$ ;  $i = 1 \dots n = 36$  mit  $\tilde{u}_i = [u_i^- = u_i^0 - 0.5, u_i^0, u_i^+ = u_i^0 + 0.5]$  und  $u = x, y$  modelliert. Die folgenden Abbildungen veranschauli-

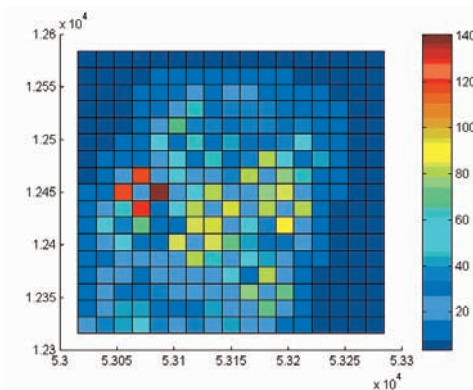
chen die Veränderung bei der Unschärfefortpflanzung. Wir verwenden die Relationen (5)–(12) zur Berechnung von einigen –



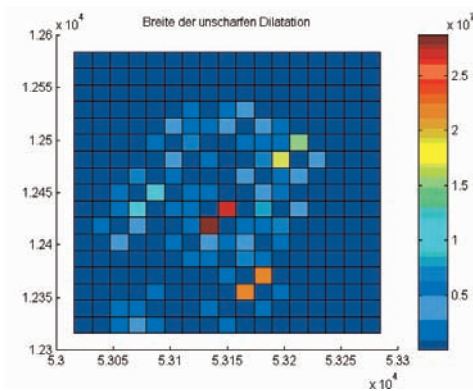
**Abb. 8a:** Breite der Unschärfe des Quadrates der Gradientenlänge für das Jahr 2003.



**Abb. 10:** Breite der Unschärfe des Quadrates des Surface Maximal Shear Strains für die Jahre 2003–2005.



**Abb. 8b:** Breite der Unschärfe des Quadrates der Gradientenlänge für das Jahr 2005.



**Abb. 9:** Breite der Unschärfe der Surface Dilatation für die Jahre 2003–2005.

unscharfen – differentialgeometrischen Größen für die Oberfläche des Reichenkar Blockgletschers in Abb. 7a, b bis Abb. 10.

#### 4 Diskussion der Ergebnisse

Die Anwendung der Fuzzy-Theorie stellt eine alternative, sinnvolle Ergänzung sowohl zu den statistischen Verfahren zur Genauigkeitskontrolle, als auch zum Fehlerfortpflanzungsgesetz dar. Bei vielen geowissenschaftlichen Anwendungen geht es nicht nur darum, einen Wert für eine bestimmte Charakteristik ableiten zu können, sondern viel mehr um die mit diesem Wert verbundene Güte späterer Ergebnisinterpretationen. Die Fuzzy-Theorie liefert ein bequemes Instrument für diesen Zweck.

Zur Vereinfachung wurde in dieser Arbeit ausschließlich das Problem der „Maximalfehlerberechnung“ behandelt. D. h. es wurde auf die Herleitung der entsprechenden Zugehörigkeitsfunktionen der unscharfen Größen verzichtet. Man interessiert sich in einem gewissen Sinne für das Ausmaß der „Unschärfe“. Die grundlegenden Schritte zur Berechnung der Zugehörigkeitsfunktionen werden beispielsweise in BANDEMER & GOTTWALD (1993) beschrieben.

Ein Vorteil der Verfahren der Fuzzy-Theorie gegenüber „klassischen“ statistischen Methoden besteht in ihrem Verzicht auf einschränkende Annahmen über Verteil-

lungsfunktionen von Fehlern. Die Herleitung der Zugehörigkeitsfunktionen von abgeleiteten Größen ist einfacher als die Bestimmung ihrer (statistischen) Verteilungen. Außerdem können heterogene Bereiche, d. h. Messungen verschiedener Unschärfe, nach dem in dieser Arbeit präsentierten Verfahren problemlos modelliert und analysiert werden.

Mittels einer Gegenüberstellung der vorliegenden Abbildungen lässt sich feststellen, dass die Unschärfe bei den  $(x, y)$ -Koordinaten zu einer deutlichen (und zu erwartenden) Zunahme der Breite der Unschärfe von differential-geometrischen Größen führt, vgl. Abb. 4a und 8a, 4b und 8b und so weiter.

Der Charakter der Fortbewegung des Reichenkar Blockgletschers weist eine beinahe periodische Zu- und Abnahme der Surface Dilatation in die Richtung dieser Bewegung (SW – NO in Abb. 5) auf. Eine mögliche Erklärung für diese Beobachtung aus geologischer Sicht wird zur Zeit näher untersucht.

Alle in dieser Arbeit durchgeführten Berechnungen wurden in MATLAB programmiert und visualisiert.

### Danksagung

Die Autorin möchte sich bei Prof. KRAINER, Institut für Geologie und Paläontologie der Universität Innsbruck, für die angenehme Zusammenarbeit und für die zur Verfügung gestellten Daten herzlich bedanken. Zudem sei dem Staatsministerium für Wissenschaft

und Kunst des Freistaates Sachsen gedankt, das durch die Gewährung einer Habilitationstorderung ebenfalls zu dieser Arbeit beigetragen hat.

### Literatur

- ALEFELD, G. & HERZBERGER, J., 1974: Einfuhung in die Intervallrechnung. – Bibliograph. Institut, Mannheim.
- BANDEMER, H. & GOTTWALD S., 1993: Einfuhung in die Fuzzy-Methoden. – Akademie Verlag GmbH, Berlin.
- KALEVA, O., 1994: Interpolation of fuzzy data. – Fuzzy Sets and Systems, 1994/61: 63–70.
- LODWICK, W. A. & SANTOS J., 2003: Constructing consistent fuzzy surfaces from fuzzy data. – Fuzzy Sets and Systems 2003/135: 259–277.
- VOOSOGHI, B., 2000: Intrinsic Deformation Analysis of the Earth Surface Based on 3-Dimensional Displacement Fields Derived From Space Geodetic Measurements. – Dissertation, Universität Stuttgart.

Anschrift der Autorin:

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

Manuskript eingereicht: März 2006  
Angenommen: Juli 2006



## Deformation Analysis of Sandwich Surfaces Prior to Buckling Failure Employing a 3-d Scanning System and Open Source Image Processing Software\*

MARTIN SCHLÜTER, Mainz, LARS PFEIFFER, Guildford (UK), KLAUS BERNER & CHRISTIAN WEIDES, Mainz

**Keywords:** Image processing, 3-d scanning, deformation analysis, sandwich panel, Open Source, ImageJ

**Abstract:** We apply a mobile 3-d scanning system to achieve an accurate deformation analysis of sandwich elements. This strategy offers the detection of geometrical changes in the sandwich face under increased loading. The results are assessed, both in quality and quantity. It is the aim of the research to assure theoretical modeling of wrinkling (short buckling) failure of sandwich structures. This paper discusses particularly the background of the scanning request as well as implementation aspects concerning the open source public domain image processing software package ImageJ and the results obtained.

**Zusammenfassung:** Analyse der Verformung von Sandwich-Oberflächen vor dem Knitterversagen mittels Einsatz von 3D-Scanner und Open Source Bildverarbeitungssoftware. Mit einem mobilen 3D-Scansystem werden Deformationsmessungen an Sandwichelementen durchgeführt. Durch die zügige und flächenhafte Erfassung geometrischer Oberflächenveränderungen werden qualitative und quantitative Aussagen zum Beulverhalten der Sandwichdeckschicht unter wachsender Belastung gewonnen. Ziel ist die Absicherung der theoretischen Modellbildung des Bauteilverhaltens. In diesem Beitrag werden neben dem Hintergrund der Messaufgabe auch die Implementierung unter dem Open Source Public Domain Bildverarbeitungspaket ImageJ und die erzielten Ergebnisse diskutiert.

---

### 1 Introduction

Since its foundation in 1998 the i3mainz – Institut für Raumbezogene Informations- und Messtechnik (Institute for Spatial Information and Surveying Technology) – has 3-d scanning and 3-d visualisation as one of its main focuses. Among other things a test range for medium range terrestrial laser scanners has been set up, BÖHLER & MARBS (2002). The federal state of Rhineland-Palatinate has founded a centre of competence

for *Spatial Information in Humanities*, making latest mobile 3D scanning systems available. With a Leica Cyrax 2500, a Mensi SOI-SIC, a 3dscanners Modelmaker X70 mounted on Faro's seven-axis portable measurement arm and a GOM ATOS II application oriented research and development on objects varying in size between ten centimetres and several hundred meters is undertaken, BÖHLER et al. (2004). In spring 2006 the construction of a long awaited new building, including state-of-the-art geodetic laboratories and other supporting facilities starts, in direct neighbourhood to Mainz university. The scientific areas are flexibly designed to meet i3mainz's demanding metrology requirements well into the upcoming century.

---

\* Enhanced and updated version of a paper published in german language in the proceedings of „Ingenieurvermessung 2004“, ETH Zürich, 15.–19. 3. 2004.

## 2 Sandwich elements in construction

Sandwich elements have become increasingly popular in the construction sector over the last decade. In particular when applied as a building envelope combining high thermal insulation values as well as great stability such panels are a good alternative to conventional construction. The biggest advantage of sandwich constructions is the fast erection time and the high degree of in shop pre fabrication, which minimizes building time and optimizes building quality.

### 2.1 Structural performance and composition of sandwich elements

Sandwich elements are load bearing construction members. They transfer loads such as wind and snow loads to the supporting frame. Because of their unique cross section, consisting of a rigid core between two thin metallic faces, sandwich panels show different failure modes than conventional building materials. One of these unique failure modes is a short buckling failure of the compressed face under moment induced stresses, the so called wrinkling failure. While the shear force is taken by the core, a pair of forces originating from the bending moment stresses the panel's top and bottom face. Generally these faces are very thin in comparison with the core and have no flexural stiffness on their own. Therefore these facings must be supported by the core, hindering them from early buckling. The mechanical properties of the core are therefore of great importance for the load bearing capacity of the whole structure.

### 2.2 Determination of ideal wrinkling strength

Theories determining the wrinkling strength of a sandwich structures are in principle available, LINKE (1978), PLANTEMA (1966). Such theoretical approaches however deliver unsatisfactory results when comparing to experimentally determined values. In principle these theories are based on an ideal

wrinkling strength, seeing the wrinkling strength as an eigenvalue problem of the compressed face failing through buckling. Following PLANTEMA (1966) this can be described by the formula:

$$\sigma_{wi} = 0.851 \cdot \sqrt{E_f \cdot E_c \cdot G_c}$$

where

$\sigma_{wi}$  ideal wrinkling strength

$E_f$  Young's modulus of the face

$E_c$  Young's modulus of the core (av. of compression and tension)

$G_c$  shear modulus of the core

### 2.3 Bedding stresses of the core

Prior to wrinkling failure the compressed face shows undulated deformations. These deformations activate the supporting capabilities of the core. Both, LINKE (1978) and PLANTEMA (1966) assume this deformation to follow a sinusoidal shape. The resulting stresses in the boundary layer between face and core are illustrated in Fig. 1.

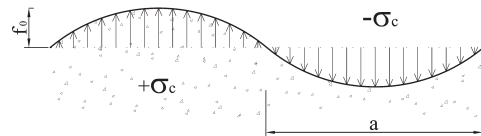


Fig. 1: Supporting stresses at the boundary layer between face and core.

Tensile and compressive forces are generated. If the bonding strength between face and core or the tensile or compressive strength of the core is insufficient and unable to support the face layer, the sandwich fails in buckling before the ideal wrinkling strength is reached. The bedding stress on the core can be determined mathematically, LINKE (1978). The absolute value of the maximum bedding stress is determined through:

$$\max \sigma_c = \frac{\pi}{a} \cdot \sqrt{E_c \cdot G_c} \cdot f_0 \cdot t \cdot \frac{\sigma_x(i)}{\sigma_{wi} - \sigma_x(i)}$$

where

$\sigma_c$  present bedding stress in core

$a$  length of sinusoidal half wave

$f_0$	amplitude of sinusoidal half wave
$t$	thickness of compressed face
$\sigma_x(i)$	present normal stress in face
$\sigma_{wi}$	ideal wrinkling strength

The bedding stress in the core is therefore not only dependent from the mechanical properties of the core and the normal stresses in the face but also from the amplitude and the wave length of the sinusoidal half wave. The material factors can be determined accurately on the base of small scale testing (prEN 14 509). The properties of the sinusoidal pre wrinkling deformation are, up to now, however only based on assumptions. LINKE (1978) shows that the length of the sinusoidal half wave is determined through:

$$a = \pi \cdot \sqrt[3]{\frac{2 \cdot D}{\sqrt{E_c \cdot G_c}}}$$

where

$D$  flexural stiffness of face

For the amplitude of the half wave LINKE (1978) refers to PLANTEMA (1966) and assumes

$$f_0 = \frac{a}{500}.$$

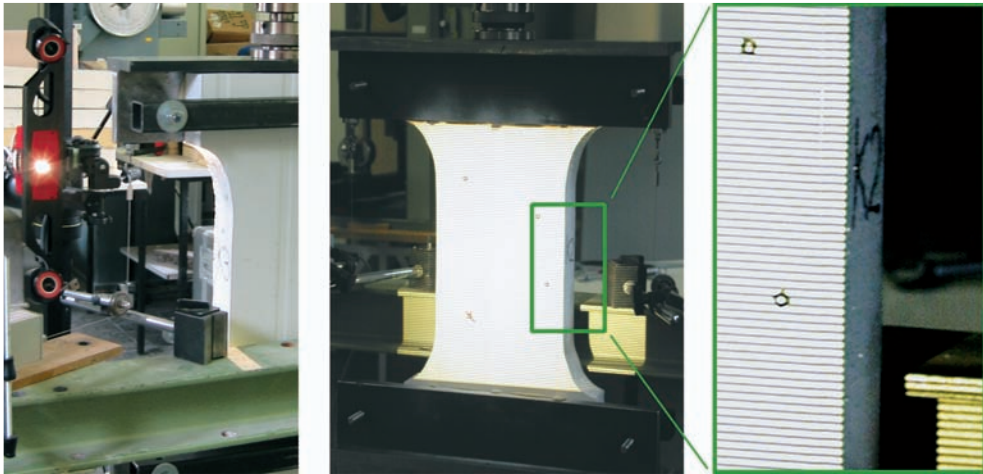
When determining the bedding stress of the core, the influence of the amplitude has a linear character. The divisor of 500 is however only estimated and based on guessing. No experimental acknowledgement has been undertaken, as accurate surveying methods were lacking. When conducting experiments determining the wrinkling strength of a sandwich structure such deformations are hardly visible to the naked eye.

### 3 Experimental realization

In order to determine the bedding stresses on the sandwich core it is necessary to accurately observe the deformation of the panel surface during a testing, see Fig. 2. Wavelength and amplitude as well as wave form need to be determined precisely to provide an insight into the material behaviour. In this research sandwich panels with a polystyrene core between two faces of steel sheet were investigated. The exact material properties of the face and core were determined experimentally, following the procedures as described in prEN 14 509. Applying the above presented theory, the wavelength was expected to be 78.8 mm while the expected amplitude was 0.16 mm. Two test setups were tested. One investigated panels in a six point bending test, see Fig. 2, as described



**Fig. 2:** Setup for six point bending test (left); sandwich after wrinkling failure (right).



**Fig. 3:** Setup with band projection scanner GOM ATOS II and the small scale test setup: Fringe projection scanner GOM ATOS II with two digital cameras on a fixed base, in the center position the fringe projector is actually working (left), sandwich element and projected fringes (middle and right).

in prEN 14 509. The other explored a newly developed small scale test on wrinkling strength, see Fig. 3. In both setups the area with the largest compressive stress in the face were studied.

The use of three different testing machineries together with both horizontal and vertical orientations of the test specimens and varying sizes of the measuring fields calls for the application of mobile 3D coordinate measurement techniques. The photogrammetric fringe projection system GOM ATOS II was chosen as 3-d scanner because it provides the necessary flexibility in instrumental setup together with a sufficient geometrical resolution well below the tenth of one millimetre. The system requires a recording time between 15 and 20 seconds, which was acceptable to the test setup. A testing scheme consisting of 10 to 12 load increments can be secluded in about 15 to 20 minutes, including scan sequences for all load cases. The absolute displacement of the panel in vertical direction during the test (bending deformation) is not of interest for this research. The frame of reference is therefore defined with the help of retro reflecting target points sticking directly on the panel surface as noticeable in both Figs. 2

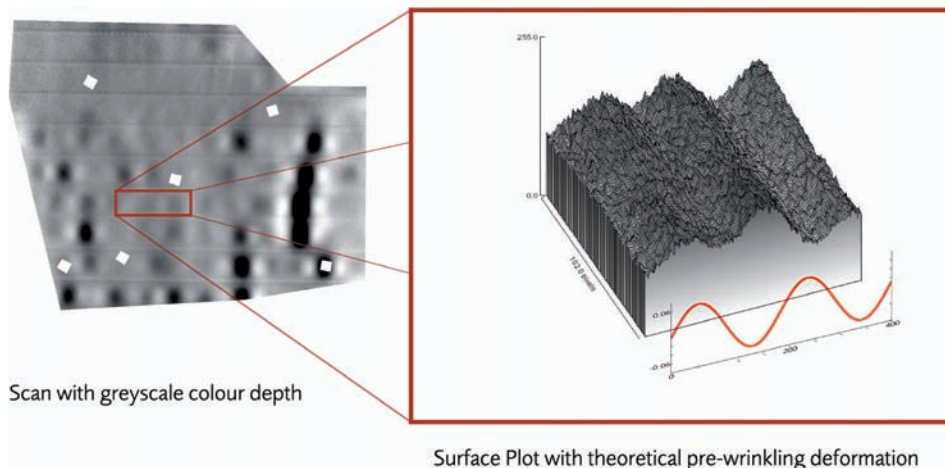
and 3. The analyzing software then converts the true movement of the object into a calculative displacement of the sensor. This was in advance simulated under controlled circumstances using a levelling disc, WEIDES (2003).

The scanned 3D points were converted into triangular meshes and translated into the 2.5 D grid pattern of a digital image with 32 bits per pixel. The TIFF file format offers a standardized way to handle such kind of surface data. To visualize the precise deformation of the sandwich face layer different load increments are subtracted from one another. The remaining differences between load increments are then subjected to frequency analysis. Basically the remaining deformations can be segmented into a low frequency fraction, representing the global bending deformation of the whole panel and the sought-after high frequency fraction caused by the pre wrinkling deformation of the face, see Fig. 4.

#### 4 Implementation aspects

As different sandwich panels show varying profiling of the deck layers, depending on producer and mode of application, some





**Fig. 4:** Pre wrinkling deformation after deviation of load increments with grey scale indicating level of deformation (left); three dimensional surface plot with theoretical sinusoidal deformation (right).

flexibility in varying the image processing flow was necessary. For this purpose the open source public domain image processing software ImageJ (RASBAND 1997–2006) was adopted for the project, cf. Fig. 5. ImageJ offers the following advantages: minor changes of image processing can be done directly and parallel based on the gathered surface data; both, users and scan service providers can use a shared evaluation programme due to the public domain status of the software; the programming language Java allows application on the Linux based PC of the GOM scanning system as well as on the Microsoft Windows based platform of the user; interactive macro recording offers directly editable Java source code; extraction of surface profiles and export to a spread sheet analyzing programme is fairly easy using simply drag'n drop. Further analysis such as discrete Fourier transformation can then be undertaken without problem.

We found it helpful to integrate even the importer tool for the 2.5-d point clouds directly under ImageJ. The open source ImageJ plugin „XYZ2DEM Importer“ imports X,Y,Z coordinates of (usually irregularly distributed) points from the first 3 columns of a plain text file and interpolates a

Digital Elevation Model (DEM) image using a Delaunay triangulation, SCHLÜTER & JOE (2006). „XYZ2DEM Importer“ is available for free download from NIH's (U.S. National Institutes of Health) website.

Fig. 5 illustrates the application of ImageJ using a 32-bit depth image. Fig. 5 exemplarily illustrates the manual processing of 32 bit depth images with ImageJ. On the one hand the user has direct access to the calibrated metric surface data with standard methods (like “depth value under crosshair: –3.283 mm”; the marked profile indicates further options like “histogram along profile” etc.). On the other hand an exhaustive and open image processing environment with excellent suitability for depth image processing is available in the background. This offers interesting perspectives for scientific interdisciplinary co-operations, since photogrammetric experts and collaborating scientists of different expertise might use ImageJ as a common platform for further developments without substantial initial investments.

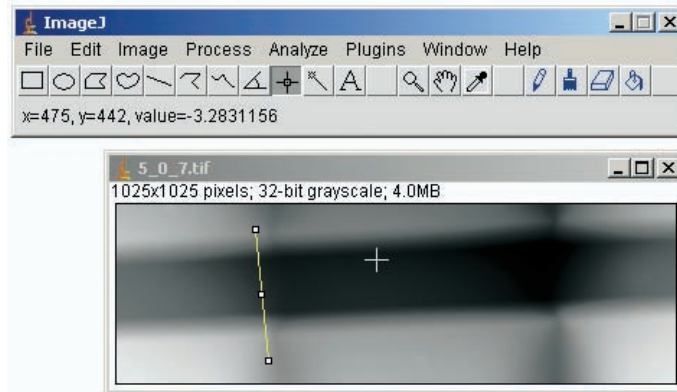


Fig. 5: Processing of a 32-bit depth image with ImageJ (screenshot).

## 5 Conclusions

It was the aim of this study to investigate the pre wrinkling deformation of a sandwich deck layer under compression with respect to the investigation of durability assessment of sandwich panel construction, PFEIFFER (2005). With the help of 3-d scanning sandwich panels in bending tests were examined.

With the help of 3-d scanning it became possible for the first time to visualize the buckling deformation of the compressed face. Good correlation between the theoretically predicted wavelength and the experimental results was found. In principle this is also true for the amplitude of the wave shaped deformation. The results here are however not as homogeneous. Small local disturbances, which are not taken into consideration in the theoretical model, can lead to great local deformations under loading. For further investigations as well as for modelling with the help of finite element analysis the obtained results form a good basis. In particular for the determination of the influence of cross panel tensile strength on wrinkling strength, the obtained results are adopted for a new model, PFEIFFER (2005). This model now allows for a new, quantity driven, evaluation of long term deterioration effects for sandwich structures.

Last but not least the open source image processing software ImageJ has proved it's

worth for scientific interdisciplinary co-operation. Using ImageJ, photogrammetric experts and collaborating scientists of different expertise can share a common software platform without substantial initial investments.

## References

- BÖHLER, W. & MARBS, A., 2002: 3D Scanning Instruments. – CIPA, Heritage Documentation, International Workshop on Scanning for Cultural Heritage Recording, 2002, Corfu, Greece.
- BÖHLER, W., BORDAS VICENT, M., HEINZ, G., MARBS, A. & MÜLLER, H., 2004: High Quality Scanning and Modeling of Monuments and Artifacts. – Proceedings of the FIG Working Week 2004, Athens, Greece. Published by FIG.
- LINKE, K.-P., 1978: Zum Tragverhalten von Profilsandwichplatten mit Stahldeckschichten und einem Polyurethan-Hartschaum-Kern bei kurz- und langzeitlicher Belastung. – Dissertation, Technische Hochschule Darmstadt.
- PFEIFFER, L., 2005: Durability Assessment of Sandwich Panels, Dissertation, University of Surrey, Guildford, UK.
- PLANTEMA, F.J., 1966: Sandwich Construction, The Bending and Buckling of Sandwich Beams, Plates and Shells. – John Wiley and Sons, New York, London, Sydney.
- prEN 14 509: Self-supporting double skin metal faced insulating sandwich panels. – Factory made products – specification.

- RASBAND, W.S., 1997–2006: ImageJ. – U.S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA, <http://rsb.info.nih.gov/ij/>.
- SCHLÜTER, M. & JOE, B., 2006: XYZ2DEM Importer – Tutorials, Examples, Applications. – <http://www.geoinform.fh-mainz.de/~mschlue/ij/>
- WEIDES, C., 2003: Untersuchung des 3D-Scanners GOM ATOS II am Beispiel einer Deformationsanalyse im Submillimeterbereich. – Fachhochschule Mainz, University of Applied Sciences, Diplomarbeit 1592.

## Addresses of the authors:

Prof. Dr.-Ing. MARTIN SCHLÜTER  
Dipl.-Ing. (FH) CHRISTIAN WEIDES  
i3mainz – Institut für raumbezogene Informations- und Messtechnik  
Fachhochschule Mainz  
University of Applied Sciences  
Holzstraße 36, D-55116 Mainz  
Tel.: +49-6131-2859-0  
e-mail: [schlueter@fh-mainz.de](mailto:schlueter@fh-mainz.de)  
[c.weides@t-online.de](mailto:c.weides@t-online.de)

Dr. Dipl.-Ing. (FH) LARS PFEIFFER  
School of Engineering  
University of Surrey, Guildford, UK  
Surrey GU2 7XH  
e-mail: [pfeiffer@fh-mainz.de](mailto:pfeiffer@fh-mainz.de)

Prof. Dr.-Ing. KLAUS BERNER  
iS-mainz, Institut für Sandwichtechnik  
Fachhochschule Mainz  
University of Applied Sciences  
Holzstraße 36, D-55116 Mainz  
Tel.: +49-6131-2859-0  
e-mail: [berner@fh-mainz.de](mailto:berner@fh-mainz.de)

Manuskript eingereicht: Juni 2006  
Angenommen: Juli 2006



## Ein neuer Algorithmus zur Klassifizierung landwirtschaftlicher Fruchtarten auf Basis spektraler Normkurven

SIBYLLE ITZEROTT & KLAUS KADEN, Potsdam

**Keywords:** Remote sensing, satellite data, spectral standard curve, crop classification, multi-temporal

**Zusammenfassung:** In ITZEROTT & KADEN 2006 wurde gezeigt, dass durch die Auswertung meteorologischer und phänologischer Beobachtungen eine auf das phänologische Normjahr transformierte spektrale Signaturkurve entwickelt werden konnte. Darauf aufbauend werden im vorliegenden Beitrag die Normkurven für die typischen Feldkulturen des Landes Brandenburg charakterisiert und ein Algorithmus für ihren Einsatz in einer fernerkundungsbasierten Fruchtartenklassifizierung vorgestellt. Dieses Vorgehen besitzt den entscheidenden Vorteil, dass der Klassifikator mühelos und objektiv aus den Normkurven erstellt wird und nicht wie herkömmlich subjektiv aus Testflächen im Bild generiert werden muss.

Der Algorithmus ist auf die schlaggenaue Erkennung von Ackerkulturen ausgerichtet. Er greift die in den Normkurven abgebildete Differenziertheit in der Phänologie der Kulturen auf und setzt sie in eine hierarchische Klassifizierungsstrategie um. Der Algorithmus umfasst drei Bearbeitungskomplexe. In der Vorverarbeitung werden die zur Verfügung stehenden Landsat-Daten eines Anbaujahres normiert, maskiert und zu einem multitemporalen NDVI-Datensatz der Ackerschläge zusammengefügt. Zum Erstellen des Klassifikators müssen für die Aufnahmetermine die kulturbeschreibenden Parameter aus den Normkurven extrahiert werden. Die hierarchische Klassifizierung umfasst vier pixelbasierte Bildanalysen nach dem Parallelepipedprinzip und eine abschließende Majoritätsanalyse der Schläge.

Anwendungen des Algorithmus haben gezeigt, dass eine zu herkömmlichen Verfahren vergleichbare Ergebnisgüte erreicht wird.

**Summary:** *An algorithm to classify agricultural crops on the basis of spectral standard curves.* In ITZEROTT & KADEN 2006 was shown that a spectral signature curve transformed on the phenological standard year could be developed by the evaluation of meteorological and phenological observations. In this paper the standard curves for the typical field crops of the federal state Brandenburg are characterized and an algorithm for their use in a remote sensing-based classification of crop types is presented. This procedure, targeted on the identification of crops on the field level, takes up the differentiation between the phenology of the crops, illustrated in the standard curves, and converts it into a hierarchical classification strategy. The algorithm covers three basics processing units. In the preprocessing the available Landsat data of a cultivation year are standardized, masked and joined to a multi-temporal NDVI dataset of the agricultural lots. To obtain the classification instruction the parameters describing the crops must be extracted from the standard curves for the acquisition dates. The hierarchical classification covers four pixel-based image analyses using the Parallelepiped method and a final majority analysis of the lots. Applications of the algorithm reached a comparable result quality to conventional procedures.

## 1 Problemstellung

Moderne geowissenschaftliche Forschung ist prozessorientiert und besitzt somit eine Zeitkomponente. Fernerkundungsdaten haben gegenüber anderen Datenquellen den Vorzug, große Raumausschnitte zu verschiedenen Zeitpunkten abzubilden. Das wird als wichtiges Potential dafür angesehen, Prozesse der Landoberfläche in ihrem Raumbezug zu erfassen. Sie spielen deshalb eine wichtige Rolle bei der Entwicklung von Monitoring-Konzepten. Solche Konzepte setzen für die Inputdaten Vergleichbarkeit voraus und verlangen Effizienz in den Analysemethoden. Auch Fernerkundungsdaten können oft nicht in ihrer ursprünglichen Form genutzt werden. Die abgebildeten Spektraleigenschaften der Objekte müssen in problemrelevante Informationen überführt werden (GAMON et al. 1995, SIMS & GAMON 2003). Das wird vorwiegend mit überwachten Klassifizierungsverfahren gelöst. Als Schwachstelle erweisen sich dabei die Klassifikationsregeln, deren Übertragbarkeit normalerweise nicht angenommen werden kann. Die Entwicklung und der Einsatz spektraler Normkurven können dabei Abhilfe schaffen. Ihre Einbindung in einen von subjektiven Eingriffen unabhängigen Algorithmus kommt einer unüberwachten Bildverarbeitung nahe. Das ist als Schritt in Richtung eines automatisierten Monitorings von Landoberflächen zu werten.

Die Kenntnis der Flächennutzung besitzt für zahlreiche Monitoringaufgaben eine zentrale Bedeutung (CLEVERS & LEEUWEN 1996, LOBELL et al. 2003, LOBELL & ASNER 2004). Die Entwicklung der vorgestellten Methodik erfolgte im Kontext mit der Erfassung von Wasser- und Stoffflüssen in Flusseinzugsgebieten. Ihre realitätsnahe Abbildung in Modellen bedarf der Berücksichtigung der Dynamik der landwirtschaftlichen Flächennutzung und der damit verbundenen zeitlichen und räumlichen Variation diffuser Nährstoffeinträge. Der Forderung nach jährlicher schlaggenauer Verteilung der Fruchtarten kann nur mit Hilfe von Fernerkundungsdaten nachgekommen werden. Diese Möglichkeit besteht jedoch nur,

wenn die zur Zeit vorzugsweise genutzten überwachten Klassifizierungsverfahren auf Basis von Trainingsflächen durch objektive Algorithmen abgelöst werden (PAL & MATHER 2003, BRUZZONE & PRIETO 2002). Außerdem stehen für die Interpretation des landwirtschaftlichen Anbaumusters lediglich auf phänologische Einzelzeitpunkte beschränkte Spektralinformationen in Datenbanken zur Verfügung (GUYOT 1990, UDELHOVEN et al. 2003).

## 2 Zur Charakteristik der Normkurven

Grundlage für die Erstellung des Klassifikators sind die spektralen Normkurven der Feldkulturen. Sie berücksichtigen im Gegensatz zu den zur Verfügung stehenden Spektraldatenbanken die Veränderung der Rückstrahleigenschaft von Pflanzenbeständen und integrieren von vorn herein den Zeitaspekt. Die entwickelten Normkurven bilden über den NDVI das veränderte Spektralverhalten im phänologischen Jahresgang ab (ITZEROTT & KADEN 2005).

Für die im Land Brandenburg typischen Ackerkulturen mit dem Anbauanteil:

– Winterroggen/Triticale	30,3 %
– Winterweizen	13,4 %
– Wintergerste	6,5 %
– Winterraps	10,7 %
– Sommergetreide	2,6 %
– Silomais/Körnermais	9,7 %
– Ölfrüchte/Leguminosen	4,4 %
– Speise- und Industriekartoffeln	1,1 %
– Zuckerrüben	1,2 %
– Feldgras/Klee	3,7 %
– Brache/Stilllegung	12,7 %

ergibt sich eine Flächenpräsenz von 96,3 %.

Auf der Grundlage von 35 Landsat-TM Szenen der Jahre 1987–2002, der Anbauinformation von sechs Agrarbetrieben mit ca. 3500 schlaggenauen Anbauinformationen sowie der stationsbezogenen Aufzeichnungen des DWD der Jahre 1951–2003 wurden die Normkurven für diese Feldfrüchte generiert. Die spektrale Signatur wurde durch NDVI-Werte als Jahreskurve abgebildet. Zähltag 1 (Kurvenbeginn) ist der 1. Januar

(ITZEROTT & KADEN 2005). Vergleicht man die Normkurven der einzelnen Kulturarten, wird sofort die vielschichtige Überlagerung ihrer Spektralsignaturen deutlich. Es kann mit Sicherheit gesagt werden, dass es zu keinem Einzeltermin möglich ist, alle Kulturen auf der Grundlage ihres NDVI-Wertes zu unterscheiden. Es sind zu bestimmten Zeitpunkten oder Intervallen immer nur einige Feldfrüchte verschieden. Eine große Anzahl zeitgenau platzierter Satellitenszenen wäre Voraussetzung für einen erfolgversprechenden multitemporalen Ansatz. Das wird von den gegenwärtig zur Verfügung stehenden Aufnahmesystemen nicht geleistet. Also erscheint die Aufgabe nur zufällig lösbar. Die Anwendung eines hierarchischen Klassifizierungsalgorithmus, der die Strukturierung in der Menge der Normkurven aufgreift, kann die unzureichende zeitliche Auflösung der Daten teilweise kompensieren.

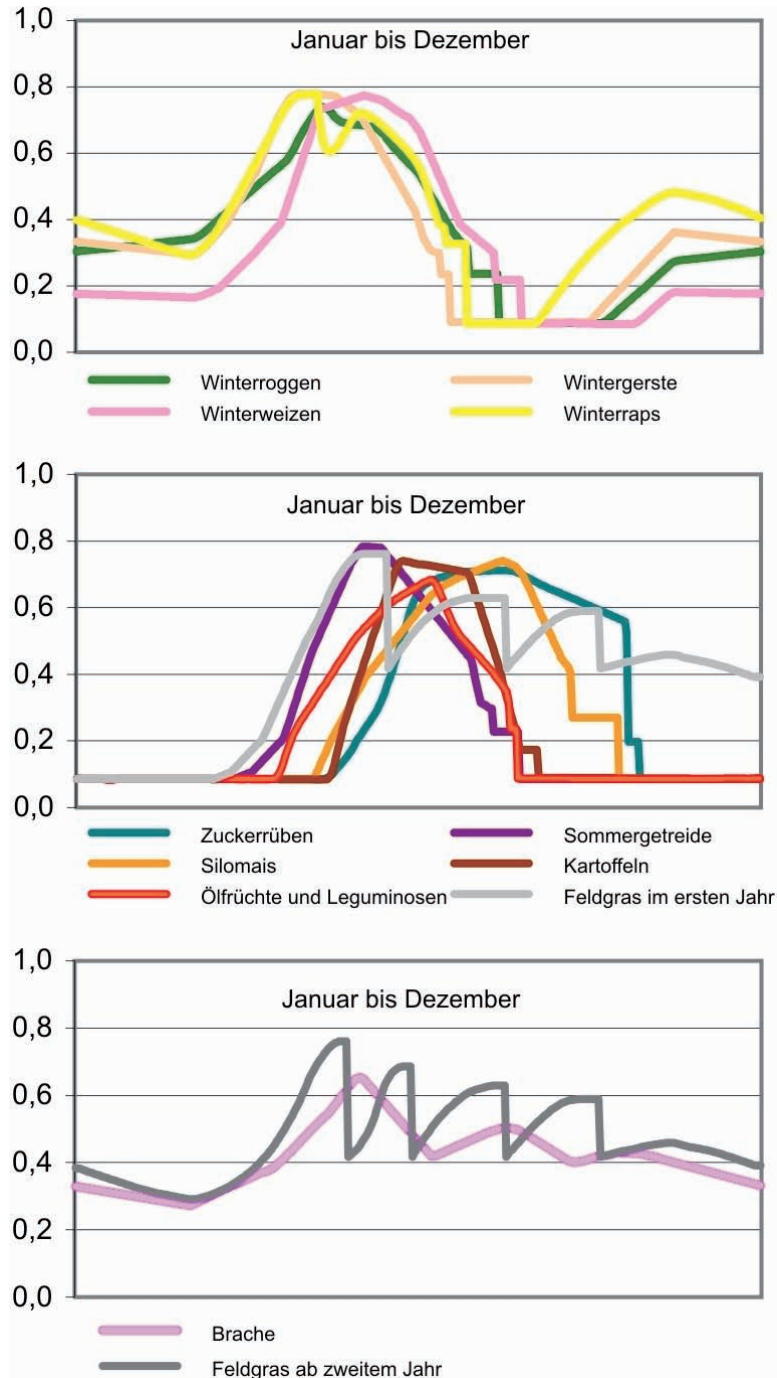
Vergleicht man die spektralen Normkurven, so findet man drei Gruppen, deren Kurvenverlauf ein gleichartiges Aussehen besitzt (Maxima, Minima, Intervalllängen usw.). Es differenzieren sich Winterfeldfrüchte (Raps, Weizen, Roggen, Gerste), Sommerfeldfrüchte (Kartoffeln, Zuckerrüben, Getreide, Ölfrüchte/Leguminosen, Silomais, Feldgras als Neuansaat) und grasartige Dauerkulturen (Feldgras außer Neuansaat, Brache). Die Abb. 1 zeigt die NDVI-Normkurven in dieser Trennung nach Gruppen.

Der ähnliche Kurvenverlauf der Feldfrüchte einer Gruppe wird durch die ähnliche Phänologie bestimmt. **Winterkulturen** laufen im Herbst nach der Aussaat auf und zeigen ab diesen Zeitpunkt einen ansteigenden NDVI-Wert. Während der Winterruhe verändert sich dieser nur geringfügig (eher abfallend). Erst im Frühling steigen die Werte schnell an und erreichen im Frühsommer ihre Maximalwerte. Danach ist ein verhältnismäßig rascher Abfall während der Reifephase vorhanden, in dem sich die Ernte- und Feldberäumungstermine abzeichnen. Bereits im Sommer ist der Zyklus abgeschlossen. **Sommerkulturen** verzeichnen erst im späteren Frühling ein Anwachsen der NDVI-Werte. Der phänologische Zyklus setzt zeitversetzt ein und dauert in etwa von

April bis Oktober. Einem sehr raschen Anstieg der NDVI-Werte im späten Frühjahr folgen unterschiedliche Rückgänge zum Spätsommer (Sommergetreide) bis Herbst (Zuckerrüben) hin. **Dauerkulturen** wie Brachen und mehrjährige Ackergrasbestände haben wegen ihrer über Jahre hinweg gleichbleibenden Nutzung (Bewirtschaftung) einen an das gesamte phänologische Jahr angepassten Zyklus (Januar – Dezember). Da das Feld nicht vollständig beräumt wird, sind zu jeder Zeit Reflexionsmerkmale des Chlorophylls vorhanden und der allgemein übliche phänologische Jahresrhythmus von gras- bzw. krautartigen Naturpflanzen bildet sich ab. Feldgras hat jedoch eine Abfolge von mehreren phänologischen Zyklen innerhalb eines Jahres. Die Anzahl resultiert aus der Zahl der Schnitte. Die Vitalität schwächt sich dabei von Schnitt zu Schnitt ab, so dass sich dennoch der vollständige Jahreszyklus einer Naturpflanze abbildet.

Diese Gruppierung schafft den ersten Ansatzpunkt für eine hierarchisch strukturierte Klassifizierung. In Abhängigkeit von den charakteristischen phänologischen Zyklen wären für eine optimale Erkennung dieser Gruppen spezifische Klassifikatoren und Satellitenszenen verschiedener Zeitpunkte im Algorithmus zu berücksichtigen.

Auf der folgenden Hierarchiestufe fallen innerhalb der Gruppen Differenzierungen deutlicher auf. Betrachtet man die Unterscheidbarkeit innerhalb der Winter- und innerhalb der Sommerkulturen, so besitzen Winterkulturen speziell zu Beginn der Winterruhe gute Trennungsmöglichkeiten. Aber auch zu anderen Abschnitten sind zwischen einzelnen Kulturen hinreichende Unterscheidungsmöglichkeiten gegeben. Winter-raps hebt sich während der Blüte deutlich von den anderen Kulturen ab. Winterweizen hat einen zeitverzögerten Aufwuchs im Frühjahr. Wintergerste besitzt im Reifeprozess einen zeitlichen Vorsprung gegenüber allen übrigen Kulturen. Winterroggen unterscheidet sich speziell durch die Art des Aufwachsens. Hier kann ein moderaterer Anstieg der NDVI-Werte auch im Winter festgestellt werden.



**Abb. 1 a–c:** Normkurven des NDVI (y-Wert) der Feldfrüchte gruppiert nach Ähnlichkeiten (oben: Winterfeldfrüchte; Mitte: Sommerfeldfrüchte; unten: grasartige Dauerkulturen). Die x-Achse bildet den Zeitraum von Tag 1 bis Tag 365 ab.



Sommergetreide ist neben Neuansaaten von Feldgras die früheste Sommerkultur. Beide erreichen ihre Maximalwerte schnell. Von diesem Zeitpunkt an besitzen die Sommergetreide große Ähnlichkeiten zum Winterweizen, so dass der beginnende Aufwuchs nach Saataufgang die beste Unterscheidungsmöglichkeit bietet. Das neuangesäte Feldgras verhält sich anfangs ähnlich, tritt aber später schnell in den durch mehrfache Schnitte gekennzeichneten Rhythmus ein. Dies kann zur Unterscheidung genutzt werden. Bei Ölfrüchten und Leguminosen (Erbsen und Lein) setzt der phänologische Zyklus etwas später ein. Die mittlere Stellung innerhalb der Sommerkulturen, verbunden mit geringeren Maximalwerten (Blühaspekte), kennzeichnet diese Kulturgruppe. Die verbleibenden drei Sommerkulturen starten ihren phänologischen Zyklus spät. Kartoffeln haben einen intensiven, aber relativ kurzen Zyklus und heben sich besonders während des Absterbens des Kartoffelkrautes im Reifeprozess von den übrigen Kulturen ab. Mais besitzt durch seine späte Blüh- und Reifephase ab dem späten Sommer beste Unterscheidungsmöglichkeiten zu fast allen Kulturen. Hier treten lediglich noch gewisse Ähnlichkeiten zu Zuckerrüben auf. Diese behalten aber ihre Vegetativität bis zur Ernte und heben sich so nach dem Einsetzen des Reifeprozesses beim Silomais von diesem zunehmend besser ab.

Innerhalb der Dauerkulturen differenziert sich das mehrjährige Feldgras von der Brache durch seinen Mahdrhythmus.

### 3 Der Klassifizierungsalgorithmus

Die Ausgangssituation für die Klassifikation ist im Vergleich zur herkömmlichen Bildverarbeitung eine andere. Wesentlich verschieden ist die Entscheidungsvorschrift, der Klassifikator. Bei der gängigen Herangehensweise wird die mathematische Beschreibung der Klassen aus der statistischen Analyse der Beispielflächen generiert und je nach verwendetem Algorithmus durch Maße wie Mittelwert, Maximum, Minimum, Standardabweichung, Mahalanobisdistanz und a priori-Wahrscheinlichkeit be-

schrieben (JAMES 1985, TSO & MATHER 2001). Die als Klassifikator vorgesehenen Normkurven ermöglichen die Ableitung vieler dieser Maße nicht. Sie müssten abgeschätzt oder durch zusätzliche zwischengeschaltete Bildanalysen gewonnen werden. Deshalb ist die Auswahl des Klassifizierungsalgorithmus bedeutungsvoll (MATHER 2004). Es wurden umfassende Tests zu den Verfahren mit Parallelepiped-, Minimum-Distanz- und Maximum-Likelihood-Ansatz durchgeführt (ITZEROTT et al. 2004). Dazu wurden die im GFZ entwickelten Programmpakete PSIC und Spanclass genutzt, die es im Gegensatz zu kommerziellen Bildverarbeitungssystemen ermöglichen, die Klassifikatordatei direkt einzugeben und zu editieren. Es wurde die Erkenntnis gewonnen, dass die Klassifikationsergebnisse um so unkontrollierbarer sind, je mehr Eingangsvariablen abgeschätzt werden müssen. Das Ergebnis lässt sich durch Probieren optimieren, aber kaum begründen. Die Entscheidung fiel so zugunsten des Parallelepiped-Verfahrens in Spanclass, bei dem lediglich die oberen und unteren Klassengrenzen (Maximum und Minimum) anzugeben sind. Diese lassen sich aus den Standardabweichungen gewinnen, die bei der Ermittlung der Normkurven für jede Kultur bestimmt wurden. Die Größe des Minimum-Maximum-Intervalls besitzt ebenso wie die Normkurve einen konkreten Bezug zur jeweiligen phänologischen Situation und variiert zwischen kleineren (z. B. Schossende bei Wintergetreide) und größeren Werten (z. B. Gelbreife bei Wintergetreide).

Für die Klassifizierung wurde ein gestaffelter Algorithmus entwickelt. Er berücksichtigt die einleitend formulierten Prämissen und bezieht sich demzufolge auf Ackerflächen in ihrer Schlaggliederung, beschränkt sich im multitemporalen Ansatz auf ein Anbaujahr und verwendet NDVI-Normkurven als Klassifikator. Die phänologischen Unterschiede der Kulturgruppen (Dauerkulturen, Winterkulturen, Sommerkulturen) bestimmen den hierarchischen Aufbau des Algorithmus. Er umfasst die folgenden Arbeitsabläufe:

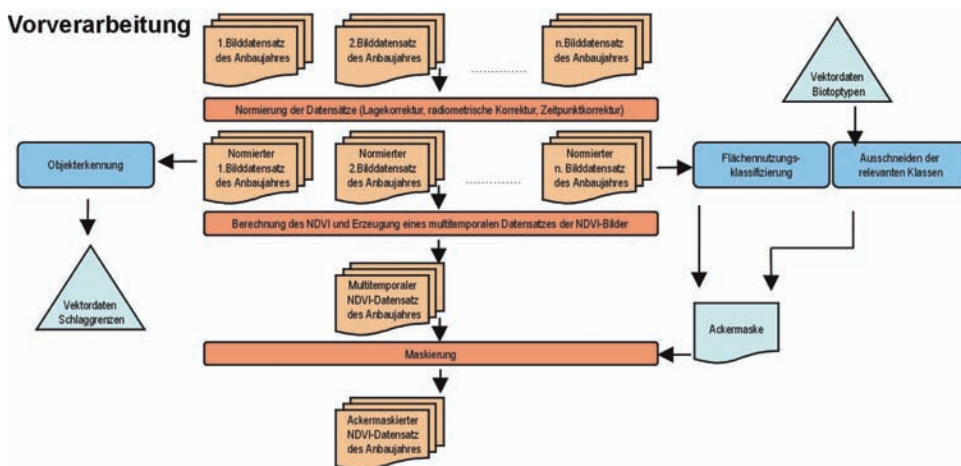
### Vorverarbeitung

Dem Ansatz einer Klassifikation auf Grundlage eines genormten Klassifikators entsprechend, sind die zu verwendenden Datensätze ebenfalls zu normieren. Das erfordert eine radiometrische Normierung (Atmosphärenkorrektur und Erzeugen von Reflektanzwerten), eine Lagekorrektur (Georeferenzierung) und die Zeitpunktkorrektur (Bewertung des Aufnahmezeitpunktes bezüglich des phänologischen Normjahres). Letztere wird jedoch nicht am Bilddatensatz durchgeführt, sondern erfolgt fruchtspezifisch entsprechend der phänologischen Beobachtung bei der Erstellung des Klassifikators. Aus den korrigierten Bilddaten wird ein multitemporaler Datensatz der NDVI-Werte generiert. Um die für die Klassifizierung relevanten Ackerflächen von den restlichen Nutzungstypen zu separieren, wird eine Ackermaske erstellt und auf den Datensatz angewendet. In dem Fall, dass keine geeignete Flächennutzungskartierung vorliegt, kann auf Satellitendaten zurückgegriffen werden. Es empfiehlt sich die Nutzung von mindestens zwei Datensätzen aus der Winterperiode mit einem zeitlichen Abstand von einigen Jahren, um einerseits die Trennung der Acker- von Grünlandflächen und andererseits die Erfassung von Flächen-

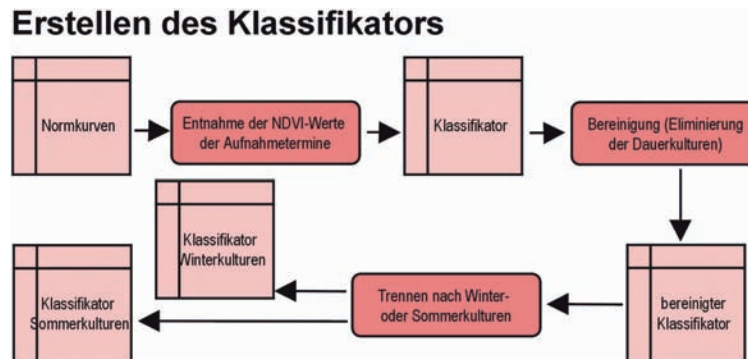
nutzungswandel zu gewährleisten. Mit dieser Ackermaske wird der NDVI-Datensatz auf Ackerflächen reduziert. Mit der Forderung nach einer schlagbasierten Aussage verbindet sich der Bedarf nach einem Datensatz der Schlaggrenzen. Da in den seltensten Fällen eine Kartierung vorliegt (das Kataster von InVeKoS löst nur in Feldblöcke, nicht in Schläge auf), kann wiederum die Nutzung von Satellitendaten erfolgen. Moderne objektorientierte Klassifizierungsverfahren (eCognition) ermöglichen die Extraktion der Schlaggrenzen aus einem multitemporalen Datensatz. Durch die Nutzung der verschiedenen Termine wird ein hohes Maß an Realitätsnähe bei der Schlagabgrenzung erreicht. Die Schlaggrenzen werden als Vektordatensatz abgelegt (Abb. 2a).

### Erstellen des Klassifikators

Grundlage für den Klassifikator sind die NDVI-Normkurven. Ihnen können die für die Klassifizierung erforderlichen statistischen Werte entnommen werden. Dabei ist zu beachten, dass an dieser Stelle die Zeitpunktkorrektur vorgenommen werden muss. Es ist nicht der Aufnahmetag des Satellitenbildes zu verwenden, sondern der dem Entwicklungszustand der Kulturen



**Abb. 2a:** Ablaufschema der Vorverarbeitung (Blau: Arbeitsschritte der Vektordatenverarbeitung; Ocker: Arbeitsschritte der Rasterdatenverarbeitung; Rot: Arbeitsschritte der Klassifikatorerstellung; Grün: Ergebnisse).



**Abb. 2b:** Ablaufschema der Klassifikatorerstellung (Farbgebung vergleiche Abb. 2a).

entsprechende Tag. Mit Hilfe phänologischer Beobachtungsdaten (z. B. des DWD) sind die Entwicklungszustände zu den einzelnen Aufnahmetermine zu erfassen, die dazugehörigen kulturspezifischen Normtage zu ermitteln und deren statistische Werte in den Klassifikator zu integrieren.

### Hierarchische Klassifizierung

Die Hierarchie berücksichtigt die unterschiedliche Phänologie der drei Kulturgruppen. Ihre optimale Erfassung wird nur durch die Berücksichtigung unterschiedlicher Zeitfenster gewährleistet.

Die erste Ebene zielt auf das Erkennen der Dauerkulturen. Sie lassen sich auf Grund des permanenten Bewuchses zu allen Aufnahmetermine am sichersten abgrenzen. Der vollständige NDVI-Datensatz wird mit dem alle Kulturarten umfassenden Klassifikator nach dem Parallelepipedverfahren bearbeitet. Der Rasterdatensatz des Ergebnisbildes wird als Zwischenergebnis für die Verteilung der Dauerkulturen (Brache, Feldgras ab zweitem Jahr) abgelegt und außerdem unter Verwendung der als Vektordaten vorliegenden Feldgrenzen einer schlagbezogenen Majoritätsberechnung unterzogen. Dieses Resultat wird als Dauerkulturmaske abgelegt.

Die zweite Ebene trennt die Winterfrucht von Sommerfruchtflächen. Der nunmehr dauerfruchtmaskierte NDVI-Datensatz wird auf zwei Zeitpunkte reduziert. Eine

Szene (Winter, zeitiges Frühjahr) muss die Winterkulturen (einschließlich der Winterzwischenfrüchte) abbilden, die andere (spätes Frühjahr, Sommer) trennt die Sommer von den Winterkulturen. Auf diese Weise kann die kontinuierliche phänologische Entwicklung der Winterhauptkulturen getrennt von der unterbrochenen Entwicklung (Winterzwischenfrucht als Vorkultur der Sommerhauptfrucht) oder der versetzt einsetzenden Entwicklung (offene Ackerfläche im Winter, gefolgt von Sommerhauptfrucht) erkannt werden. Im Klassifikator werden zunächst alle Winter- und Sommerfruchtclassen berücksichtigt. Nach der Klassifizierung wird das Ergebnis generalisiert auf die beiden Bewertungen Winterkultur oder Sommerkultur. Abschließend wird erneut eine schlagbezogene Majoritätsprüfung durchgeführt. Im Ergebnis entstehen eine Winterkultur- und Sommerkulturmaske.

Auf der dritten Ebene erfolgt eine getrennte Klassifizierung der Winterkulturen (Raps, Roggen, Gerste, Weizen) und der Sommerkulturen (Sommergetreide, Mais, Kartoffeln, Zuckerrüben, Ölfrüchte/Leguminosen, Feldgras als Neuansaat). Dazu wird jeweils ein entsprechender Klassifikator erstellt. Für die Sommerkulturen reduziert sich das Zeitfenster auf die Spanne von April bis Oktober, für die Winterkulturen werden Aufnahmetermine von Oktober bis August berücksichtigt. Die beiden Klassifikatoren werden auf den entsprechend maskierten Datensatz angewendet. Die Ergeb-

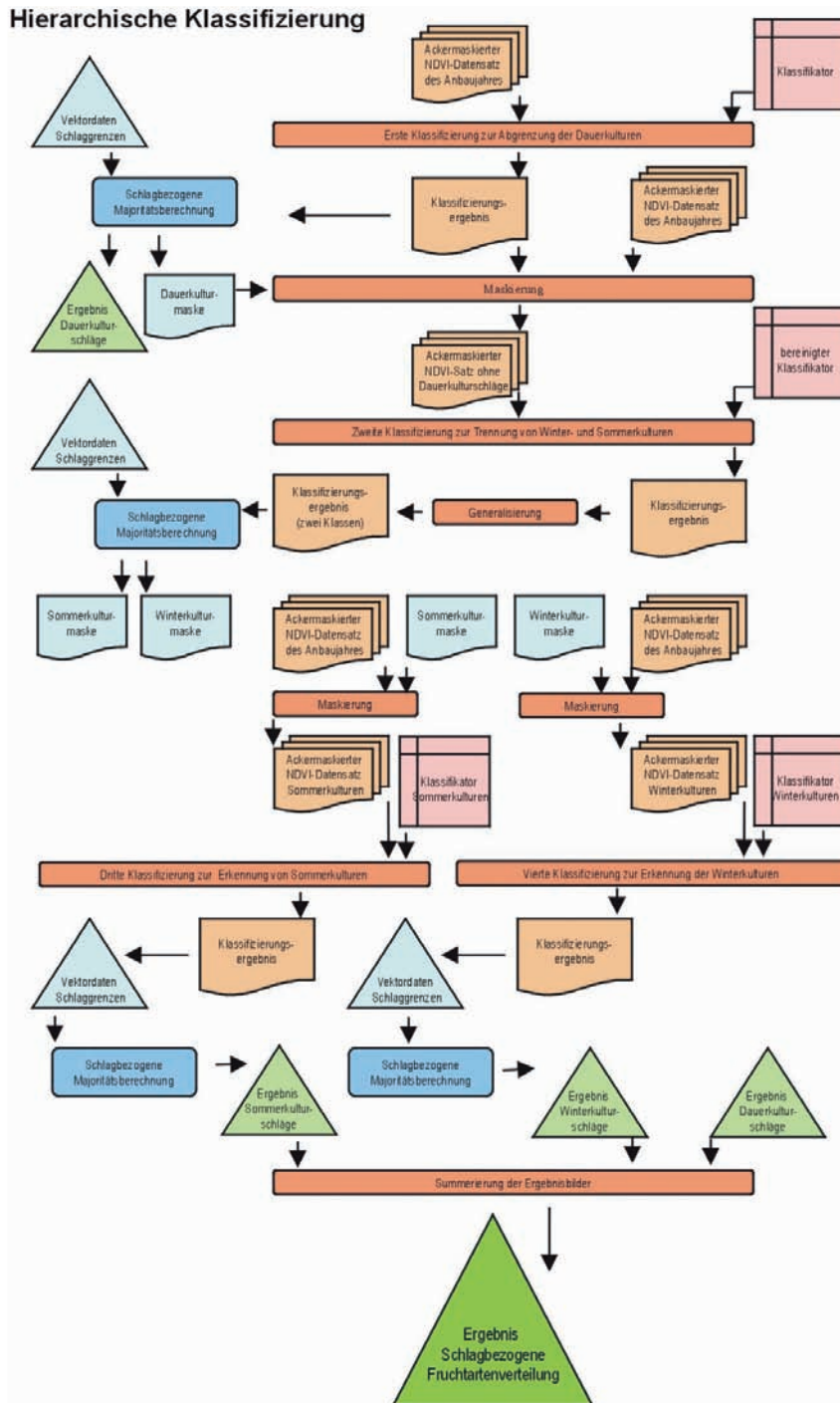


Abb. 2c: Ablaufschema der hierarchischen Klassifizierung (Farbegebung vergl. Abb. 2a).

nisbilder der Sommerkulturen und der Winterkulturen werden mit dem Ergebnisbild der Dauerkulturen zu einem Summenbild zusammengefügt. Die abschließende Majoritätsprüfung erzeugt ein Abbild der schlagbezogenen Fruchtartenverteilung.

#### 4 Fazit

Um eine höhere Effizienz bei fernerkundungsbasierten Monitoringansätzen zu erreichen, sind Klassifikatoren vergleichbar zu halten und ihre Übertragbarkeit zu gewährleisten. Es konnte gezeigt werden, dass auf der Basis der Normierung der radiometrischen, spektralen, geometrischen und zeitlichen Informationen von Fernerkundungsdaten ein Normklassifikator entwickelt worden ist, der diesen Ansprüchen gerecht wird. Für zwölf Feldkulturen wurden spektrale Normkurven erzeugt und ein auf die schlaggenaue Erkennung abgestimmter hierarchisch strukturierter Algorithmus bereitgestellt. Im vorliegenden Beitrag lag der Schwerpunkt auf der Präsentation des neuen Algorithmus zur Klassifizierung landwirtschaftlicher Fruchtarten. Die Darstellung zur Anwendung des Verfahrens für Ausschnitte und das Gesamteinzugsgebiet der Havel für die Anbaujahre 1994 bis 2000, zu Klassifizierungsergebnissen und deren Gütebewertung erfolgt bei ITZEROTT & KADEN 2005.

Der entscheidende Vorteil des Verfahrens besteht in der Klassifikatorerstellung. Während dieser Arbeitsschritt in herkömmlichen Verfahren den größten Zeitumfang erfordert, reduziert sich im vorgestellten Fall der Aufwand auf die Einpassung der Aufnahmezeitpunkte in das Normjahr der phänologischen Entwicklung jeder Kultur. Entsprechend dieser Einordnung kann die kulturspezifische Spektralbeschreibung sofort der Normkurve entnommen werden.

Eine Gütebewertung auf der Grundlage von Konfusionsmatrizen für 1620 ha Anbaufläche auf 144 Schlägen für das Anbaujahr 1995 hat eine overall accuracy von 65,7% ergeben. Im Vergleich dazu wurde mit einer herkömmlichen Maximum Likelihood Klassifizierung der gleichen Datenbasis ein Ergebnis von 72,8% erreicht. Das

zeigt, dass der Ansatz ohne Qualitätsverlust grundsätzlich berechtigt ist, jedoch die zeitsparende Klassifikatorerstellung und die somit mühelos wiederholte Anwendung des Verfahrens die entscheidenden Vorteile sind.

Spektrale Normkurven in ihrem gegenwärtigen Entwicklungsstand können als Basis des Ansatzes betrachtet werden. Ihre Güte wird durch beständiges Hinzufügen neuer Informationen andauernd zunehmen. Sie können als kontinuierlich erweiterbarer Informationsspeicher angesehen werden und sollten alle klassifikationsrelevanten Informationen zur Kultur in normierter Form aufnehmen. Dies wird zu einer Qualitätssteigerung bei der Anwendung des Verfahrens führen. Die Vervollkommnung der Normkurven ist somit ein zentraler Ansatzpunkt zur Weiterentwicklung des vorgestellten Verfahrens. Durch die Verwendung des NDVI ist dieser Ansatz auf andere, auch neue Sensorsysteme erweiterbar (STEVEN et al. 2003).

Das Hinzufügen von Informationen, die Einfluss auf die Güte der Klassifizierung haben, aber bisher unberücksichtigt blieben, betrifft auch die verstärkte Einbindung naturräumlicher Komponenten. Die gleiche Kultur zeigt unterschiedliches Verhalten auf grundwassernahen bzw. -fernen Standorten. Das wird durch *eine* Normkurve je Kultur nicht abgedeckt. Somit stellt sich die Forderung nach Berücksichtigung pedo-hydrologischer Naturraumeigenschaften in den Normkurven. Unseres Erachtens sind Nährstoff- und Wasserversorgung entscheidend. Unter den Standortvoraussetzungen brandenburgischer Böden ist eine Unterscheidung von (a) ertragsarmen Böden in grundwasserfernen Lagen, (b) ertragsreichen Böden in grundwasserfernen Lagen, (c) ertragsarmen Böden in grundwassernahen Lagen und (d) ertragsreichen Böden in grundwassernahen Lagen angebracht. Das bedeutet, dass für eine einzelne Kultur mehrere Normkurven notwendig werden.

Unberücksichtigt bleiben bisher auch Bewirtschaftungsmaßnahmen (Düngung, Sortenwahl usw.). Dass sie für die Interpretation der Ergebnisse Relevanz besitzen, ist klar, welcher Art diese ist, bleibt zunächst

offen. Eine Erweiterung des Ansatzes durch die Hinzunahme solcher Informationen kann fuzzibasiert erfolgen. Auch hier können fortführende Forschungen ansetzen.

### Danksagung

Diese Arbeit wurde im Rahmen des Forschungsprojektes „Bewirtschaftungsmöglichkeiten im Einzugsgebiet der Havel“ durchgeführt (BRONSTERT et al. 2006) und vom BMBF unter dem Kennzeichen 0330227 gefördert.

### Literatur

- BRONSTERT, A. et al., 2006: Bewirtschaftungsmöglichkeiten im Einzugsgebiet der Havel – Abschlussbericht zum BMBF-Projekt. – Brandenburgische Umweltberichte **18**, im Druck, Potsdam.
- BRUZZONE, L. & PRIETO, D.F., 2002: A partially unsupervised cascade classifier for the analysis of multitemporal remote-sensing images. – Pattern Recognition Letters **23**:1063–1071.
- CLEVERS, J.G.P.W. & VAN LEEUWEN, H.J.C., 1996: Combined use of optical and microwave remote sensing data for crop growth monitoring. – Remote Sensing Environment **56**:42–51.
- GAMON, J.A., FIELD, C.B., GOULDEN, M.L., GRIFFIN, K.L., HARTLEY, A.E., JOEL, G., PENUELAS, J., VALENTINI, R., 1995: Relationships between NDVI, canopy structure, and photosynthesis in three Californian vegetation types. – Ecological Applications **5**: 28–41.
- GUYOT, G., 1990: Optical properties of vegetation canopies. – In: STEVEN, M.D. & CLARK, J.A. (eds.): Applications of remote sensing in agriculture. – 19–43, London
- ITZEROTT, S., MÜLLER, D. & KADEN, K., 2004: Klassifikation agrarischer Nutzungen unter Verwendung spektraler Normkurven. – Halle-sches Jahrbuch Geowissenschaften **A26**:93–110.
- ITZEROTT, S. & KADEN, K., 2005: Bereitstellung raum-zeit-bezogener Modellierungsparameter unter Einbeziehung von Fernerkundungsdaten. – „Bewirtschaftungsmöglichkeiten im Einzugsgebiet der Havel“. Endbericht TP 6, GeoForschungsZentrum Potsdam und Universität Potsdam. www.havelmanagement.net.
- ITZEROTT, S. & KADEN, K., 2006: Spektrale Normkurven – eine notwendige Voraussetzung für die Klassifizierung der Fruchtartenverteilung aus Fernerkundungsdaten. – Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation **2006** (3): 205–216, Stuttgart.
- JAMES, M., 1985: Classification algorithms. – Wiley, New York.
- LOBELL, D.B., ASNER, G.P., ORTIZ-MONASTERIO, J.I. & BENNING, T.L., 2003: Remote sensing of regional crop production in the Yaqui Valley, Mexico: estimates and uncertainties. – Agriculture, Ecosystems & Environment **94**: 205–220.
- MATHER, P.M., 2004: Computer processing of remotely sensed images. – 3<sup>rd</sup> ed., Wiley, Chichester.
- LOBELL, D.B. & ASNER, G.P., 2004: Cropland distributions from temporal unmixing of MODIS data. – Remote Sensing Environment **93**: 412–422.
- PAL, M. & MATHER, P.M., 2003: An assessment of the effectiveness of decision tree methods for land cover classification. – Remote Sensing Environment **86**: 554–565.
- SIMS, D.A. & GAMON, J.A., 2003: Estimation of vegetation water content and photosynthetic tissue area from spectral reflectance: a comparison of indices based on liquid water and chlorophyll absorption features. – Remote Sensing Environment **84**: 526–537.
- STEVEN, M.D., MALTHUS, T.J., BARET, F., HUI, X. & SHOPPING, M.J., 2003: Intercalibration of vegetation indices from different sensor systems. – Remote Sensing Environment **88**: 412–422
- TSO, B. & MATHER, P.M., 2001: Classification methods for remotely sensed data. – Taylor and Francis, London.
- UDELHOVEN, T., HOSTERT, P., JARMER, P. & HILL, J., 2003: Klassifikation von Getreideflächen mit hyperspektralen Bilddaten des HyMap-Sensors. – Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation **2003** (1): 35–42, Stuttgart.

### Anschriften der Autoren:

Dr. SIBYLLE ITZEROTT  
GeoForschungsZentrum Potsdam  
Sektion Fernerkundung  
Telegraphenberg A17, D-14473 Potsdam,  
Tel.: 0331-2881107, Fax: 0331-2881192,  
e-mail: itzerott@gfz-potsdam.de

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

Manuskript eingereicht: März 2006  
Angenommen: Mai 2006

## Berichte

### **ISPRS Kommission I Symposium „From Sensors to Imagery“ Paris, Frankreich, 4.–6. Juli 2006**

Das Symposium der Kommission I wurde von ihrem Präsidenten ALAIN BAUDOIN in den Räumen der Ecole Nationale des Sciences Géographiques in Paris-Marne-la-Vallée eröffnet. Die Veranstaltung wurde von der französischen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung, der SFPT, zusammen mit CNES und IGN ausgerichtet. Als weitere Sponsoren des Treffens traten der Bezirk Île de France und die Firmen SPOTIMAGE und INTERGRAPH auf.

Die Grußworte des ISPRS Vorstandes überbrachte ihr Präsident IAN DOWMAN. Er verwies darin insbesondere auf die aktive Mitarbeit der Kommission I in den Gremien von ISO und CEOS sowie auf ihr Engagement bei der Durchführung wissenschaftlicher Testprogramme für SPOT-5 und Cartosat-1.

Der Vertreter des CNES rief bei der Eröffnung in Erinnerung, dass fast genau 20 Jahre vergangen waren, seit Frankreich den ersten SPOT Satelliten gestartet hatte.

Das Symposium wurde von ca. 180 Teilnehmern besucht, darunter 15 aus Deutschland. Das wissenschaftliche Programm umfasste elf technische Sitzungen mit 50 Vorträgen und drei Poster-Sitzungen mit 47 Präsentationen. Neun der Vorträge wurden von deutschen Teilnehmern gehalten. Die schriftliche Version der Vorträge und Poster liegt auf CD vor, teilweise aber nur in Form von Abstracts.

In einer einleitenden Plenarsitzung wurden in Übersichtsvorträgen die Programme und derzeitigen Aktivitäten von EuroSDR, Global Earth Observation System of Systems (GEOSS) und des Institute of Navigation der Ohio State University vorgestellt, alles Programme, an denen ISPRS oder ihre Mitglieder beteiligt sind.

Im Einzelnen wurden im technischen Programm die folgenden Themenbereiche abgehandelt:

### **Digitale Luftbildkameras (2 Sitzungen)**

G. PETRIE und A. WALKER (beide Glasgow, UK) gaben einen systematischen Überblick über Technik und Typen digitaler Luftbildkamerasysteme. In Zukunft sind Systeme mit noch größeren Detektorarrays zu erwarten. M. CRAMER (Stuttgart) berichtete über praktische Versuche des USGS (USA) und von EuroSDR (Europa) mit verschiedenen großformatigen digitalen Kameras mit dem Ziel, Richtlinien für Qualitätskontrolle und Sensorzertifizierung aufzustellen. J. SOUCHON (IGN, Paris) hatte Vor- und Nachteile mittel- und großformatiger Kamerasysteme zusammengestellt, um ein geeignetes zukünftiges System für IGN zu definieren. Weitere Vorträge beschäftigten sich mit praktischen Tests zum radiometrischen und geometrischen Verhalten sowie zur Punktbestimmungsgenauigkeit verschiedener Kamerasysteme.

Von den weltweit eingesetzten ca. 1000 Luftbildkameras sind derzeit etwa 100 digitale Systeme; in Zukunft wird ein Verhältnis der analog- zu digitalen Systemen von 750:250 erwartet. Ein klarer Trend, wohin die technische Entwicklung gehen wird, ob zu Mittelformat- oder zu Großformatkameras, ob zu Rahmenkameras oder zu push broom Systemen, ist momentan nicht erkennbar.

### **Standards und Kalibrierung (1 Sitzung)**

Der Vortrag von W. KRESSE (Neubrandenburg) diente dem Bemühen, einen koordinierten Prozess zur Etablierung von Standards für Kalibrierung digitaler Systeme im internationalen Rahmen, z. B. innerhalb der ISO, in Gang zu setzen. Weitere Beiträge bezogen sich auf die geometrische inflight Kalibrierung des Satelliten-Instruments MISR der NASA, auf die Einrichtung eines Testfeldes zur geometrischen Kalibrierung von Satellitensensoren in Südfrankreich und auf die radiometrische Kalibrierung der ADS 40 Kamera.

### Stereo-Kameras und DEM Erzeugung (2 Sitzungen)

Mehrere Vorträge beschäftigten sich mit Orientierungsverfahren zu Georeferenzierung von Daten der Satelliten IKONOS, QuickBird und OrbView-3. Dabei wurden sowohl Originaldaten als auch bereits vom Satellitenbetreiber vorverarbeitete Daten verwandt. Zum Thema Sensororientierung gab es weiterhin Beiträge zur Co-Registrierung hoch aufgelöster Satellitenbilder und eine Vorschau auf das Ortho-Mosaicking System für die Daten des zukünftigen französischen Satellitensystems Pleiades.

Zum Thema DEM Erzeugung wurden Untersuchungen zur Fusion von DEMs aus Radar- und optischen Daten sowie Genauigkeitsvergleiche zwischen DEMs aus unterschiedlichen Datenquellen vorgestellt. Drei Vorträge hatten die Ableitung von 3D-Stadt- und Gebäudemodellen aus hoch aufgelösten Satellitenbildern zum Inhalt.

### LIDAR und SAR (2 Sitzungen)

Von T. JOHANESSEN (Reston, USA) wurden Richtlinien der ASPRS zur Erfassung von horizontaler und vertikaler Genauigkeit von LIDAR Daten vorgestellt. Weitere Beiträge über praktische Untersuchungen mit LIDAR Systemen umfassten die hochgenaue Bestimmung eines Oberflächenmodells entlang der St. Andreas Falte in Kalifornien für die Erdbebenforschung, die Bestimmung der Impulsantwort zur Analyse der Wellenfront und Intensitätskalibrierung mit Testflächen bekannter Reflexion.

Auf dem SAR Gebiet präsentierte M. EINEDER (DLR, Oberpfaffenhofen) die geplante deutsche Interferometrie-Mission TanDEM-X. Weitere SAR-Themen waren: polarimetrisches P-Band InSAR für DEMs in bewaldeten Gebieten, Weiterentwicklung der Permanent Scatterer Verfahren und Landnutzungsklassifizierung mit voll polarimetrischen L- und P-Band Daten.

### Kleinsatelliten (1 Sitzung)

Von R. SANDAU (DLR, Berlin) wurden Ergebnisse einer von ihm herausgegebenen in-

ternationalen Studie über „Cost-Effective Earth Observation Missions“ präsentiert. Diese Studie ist im Verlag Taylor & Francis erschienen. Weiter wurde über eine geplante thailändische und eine bereits im Orbit befindliche türkische Kleinsatellitenmission vorgetragen.

### Navigation und Mobil Mapping (2 Sitzungen)

In fünf Vorträgen zum Thema Navigation ging es um die autonome Steuerung von Sonden zur Erkundung des Planeten Mars, von Modellhubschraubern und von Straßenfahrzeugen.

Das Thema Mobil Mapping, für das eine gemeinsame Arbeitsgruppe der Kommissionen I und V gebildet wurde, beinhaltete in fünf Vorträgen verschiedene konkrete Projekte mit Experimentalsystemen, bestehend aus Kameras, Navigationssensoren und zum Teil aus einem Laserentfernungsmesser für unterschiedliche Kartierungsaufgaben.

### Multi-Platform und Intelligent Sensing (1 Sitzung)

In dieser Sitzung waren Themen zusammengefasst, die man unter „Verschiedenes“ einordnen könnte. Darunter die interessante Aufgabe der Datenfusion von optischen und Radardaten und die Idee, ähnlich dem World Wide Web ein Sensornetzwerk einzurichten, über das der Nutzer jederzeit Zugang zu verschiedenen Sensordaten erhält.

Die von Präsident A. BAUDOIN und seinem Sekretär N. PAPARODITIS gut organisierte Veranstaltung wurde begleitet von einer kleinen Industrieausstellung, an der sich acht Firmen beteiligten.

Zum gegenseitigen Kennenlernen der Teilnehmer trug ein geselliger Abend mit Gesang und Tanz in einem typischen Pariser Weinlokal im Stil der 20er Jahre an der Marné bei. Die Party erreichte ihren Höhepunkt nachdem Frankreich an diesem Abend in das Endspiel der Fußballweltmeisterschaft eingezogen war.

MANFRED SCHROEDER, Oberpfaffenhofen



## Festkolloquium 10 Jahre IAPG Oldenburg am 7. 7. 2006

In diesem Jahr kann das Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik (IAPG) der Fachhochschule Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelmshaven auf sein zehnjähriges Bestehen zurückblicken. Aus diesem erfreulichen Anlass fand am 7. 7. 2006 in Oldenburg eine halbtägige Veranstaltung statt, bestehend aus Fachkolloquium, Festakt und anschließendem kulinarisch gemütlichen Empfang. Als Vortragende im Fachkolloquium wurden Prof. HANS-GERD MAAS, Prof. MONIKA SESTER und der Präsident des Deutschen Dachverbandes für Geoinformation e.V. (DDGI), Dr. BODO BERNSDORF, gewonnen.

Prof. MAAS sprach über *Photogrammetrische Verfahren im Gletschermonitoring* und bezog sich dabei auf Forschungsarbeiten der TU Dresden (Institute für Photogrammetrie und Fernerkundung sowie für Planetare Geodäsie) am Jakobshavn Isbræ an der Westküste Grönlands, einem der weltweit schnellsten und produktivsten Gletscher. Aus der Analyse von (monoskopischen) Bildsequenzen einer vor Ort aufgestellten, hoch auflösenden Digitalkamera wurden Bewegungsvektoren und -trajektorien durch Korrelationsverfahren bestimmt. Es ergaben sich zum einen vertikale, durch die Gezeiten induzierte Bewegungskomponenten, zum anderen Fließgeschwindigkeiten des Gletschers von bis zu 40 Metern pro Tag. Dieser Wert ist etwa doppelt so groß wie aus früheren Untersuchungen bekannt – wohl ein beunruhigender Hinweis auf die Auswirkungen der Klimaveränderung.

Das Thema des nächsten Vortrags war *Navigation mit 3D-Geodaten*. Frau Prof. SESTER zeigte die faszinierenden Möglichkeiten auf, die zunehmend verfügbare 3D-Geodaten für die Unterstützung des Menschen bei der Durchführung komplexer Navigationsaufgaben bieten. Ausgehend von den Defiziten heute verfügbarer Systeme wies sie auf Untersuchungen zur Nutzung von Landmarken, d. h. aus ihrer lokalen Umgebung herausragenden „wichtigen“ Objekten, für die Routen-Anweisung hin

und ebenso auf Möglichkeiten der Zielführung mit Hilfe von Augmented Reality-Anwendungen, bei denen Navigationshinweise virtuell in die vom Fahrer wahrgenommene „Realität“ eingeblendet werden. In der Zukunft werden immer mehr Sensoren (GPS, Radar, Kameras, Laserscanner . . .), die miteinander vernetzt sind und kooperieren, in Fahrzeugen eingebaut sein. Die dann erfasste, umfassende 3D-Umgebungsinformation kann zur präziseren Navigation und irgendwann auch zur Fahrzeugführung verwendet werden.

Der dritte Vortrag des Fachkolloquiums betraf *Das Geschäft mit dem Raumbezug: Geoinformationen als Wirtschaftsfaktor*. Der wachsende Bedarf und die Bedeutung von Geoinformationen für die Planung und Entwicklung in Handel und Wirtschaft, Verwaltung und Wissenschaft wurden vom Präsidenten des DDGI eindrucksvoll vor Augen geführt, ergänzt durch Beispiele für die kommerzielle Nutzung von Geoinformation in den Bereichen Tourismus, Geomarketing und Spatial Business Intelligence.

Der anschließende Festakt zum zehnjährigen Bestehen des IAPG bot der Präsidentin der FH Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelmshaven, Frau Prof. ANNE FRIEDRICHS, und dem Niedersächsischen Minister für Wissenschaft und Kultur LUTZ STRATMANN Gelegenheit, die Entwicklung und den heutigen Zustand des Instituts mit herzlich anerkennenden und kenntnisreichen Worten zu würdigen und dabei auch eine Reihe von Bemerkungen zur aktuellen Hochschul- und Wissenschaftspolitik einfließen zu lassen (Abb.).



Abb.: Frau Prof. FRIEDRICHS, Prof. LUHMANN und Minister STRATMANN.

Als geschäftsführendem Direktor des Instituts blieb es Prof. THOMAS LUHMANN in seinem Vortrag *10 Jahre IAPG* vorbehalten, diese Zeit Revue passieren zu lassen – vom Beginn mit einer Gruppe von drei Professoren und drei Mitarbeitern/innen bis zu den heutigen mehr als 30 Institutsangehörigen. Einzelheiten zu dieser Erfolgsstory von Forschungsprojekten, Tagungen, Ausstellungen, Promotionen, Gremienarbeit, Veröffentlichungen und Lehrbüchern, Drittmitteln und Gerätebeschaffungen in den Bereichen Photogrammetrie, Geoinformatik und Kartographie kann der Interessierte auf der Website des IAPG nachlesen ([www.fh-oow.de/institute/iapg/chronik](http://www.fh-oow.de/institute/iapg/chronik)). Hervorzuheben sind vielleicht noch die seit 2002 jährlich stattfindenden „Oldenburger 3D-Tage“ mit inzwischen mehr als 250 Teilnehmern, ein hochwillkommenes und akzeptiertes Forum für Forschung und Anwendung auf den Gebieten Photogrammetrie, Laserscanning und Optische 3D-Messtechnik.

Der letzte Vortrag des Tages *Forschung an Fachhochschulen* wurde von Prof. WERNER SÖTE in seiner Eigenschaft als Vorsitzender der Arbeitsgruppe Innovative Projekte (AGIP) beim Niedersächsischen Ministerium für Wissenschaft und Kultur gehalten. Er berichtete über Möglichkeiten der praxisbezogenen Forschungs- und Entwicklungsförderung der niedersächsischen Fachhochschulen. Auch am IAPG wurden bzw. werden Projekte mit AGIP-Mitteln gefördert.

Das Programm des Festkolloquiums endete mit einem frühabendlichen Empfang, zu dessen Beginn sich ein heftiger Gewitterregen einstellte. Der frohen Stimmung der zahlreichen Besucher tat dies aber keinen Abbruch. Das IAPG kann nach den ersten zehn Jahren seines Bestehens mit Recht auf das Erreichte stolz sein und einer erfolgreichen Zukunft entgegensehen.

JÜRGEN PEIPE, Neubiberg

## **GICON 2006**

vom 10. bis 14. Juli 2006 in Wien

An der Universität Wien fand vom 10. bis 14. Juli 2006 eine Konferenz unter dem Mot-

to „*Geoinformation verbindet Gesellschaften*“ (GICON) statt. Die Veranstaltung wurde vom Institut für Geographie und Regionalforschung der Universität Wien, Bereich Kartographie und Geoinformation, ausgerichtet. Die GICON ermöglichte eine gemeinsame Tagung dreier großer wissenschaftlicher Gesellschaften unter einem Dach, nämlich der Internationalen Kartographischen Vereinigung (ICA), der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung (ISPRS) und der Internationalen Geographischen Union (IGU).

Gleichzeitig mit dem Mitteleuropäischen Kartographentag (MKT 2006), verbunden mit dem 54. Deutschen Kartographentag, fand das Symposium der Technischen Kommission II – *Theory and Concepts of Spatio-temporal Data Handling and Information* – der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung und das 12<sup>th</sup> International Symposium on Spatial Data Handling (SDH 2006) der Commission on Geographical Information Science in der Internationalen Geographischen Union in Wien statt.

An der Veranstaltung nahmen 321 Fachleute und Wissenschaftler aus Europa und anderen Teilen der Welt teil.

In der Eröffnungsfeier betonte der Keynote Speaker, Prof. JOEL MORRISON, die Zukunftsfähigkeit und das Entwicklungspotential aller Fachrichtungen, die sich mit Geoinformation beschäftigen. Den vollständigen Text kann man unter <http://www.gicon2006.at/> abrufen. Weitere Gelegenheiten für den Gedankenaustausch mit Fachkollegen und das Knüpfen neuer wissenschaftlicher Kontakte boten sich bei der Icebreaker-Party, einem Empfang im Rathaus und der Abschlussfeier.

Das Tagungsprogramm war aufgrund der Zusammenfassung einzelner Konferenzen vielschichtig und thematisierte verschiedene Interessengebiete. Die Teilnehmer konnten zwischen den Themen des MKT, der ISPRS und des SDH uneingeschränkt wechseln, welches eine zusätzliche Vielfalt des Angebotes bewirkte. Unter anderem wurden folgende Schwerpunkte angeboten:

MKT: Karten im Internet, Toponymie, Angewandte Kartographie, Theorie der Kartographie, Kartographische Kommunikation, Historische Aspekte, Kartographische Gestaltung, 3D-Visualisierung

ISPRS: 2D-Visualisierung, Datenmodelle, Datengewinnung, Semantik und Ontologien, Multiple Repräsentationen, Systemintegration und Interoperabilität, Raumplanung und Entscheidungsunterstützungssysteme, Kommunikation und Visualisierung räumlicher Daten, Dynamische und Multi-Dimensionale Systeme und Applikationen,

SDH: Raum-Zeitliche Modellierung und Qualität, Räumliches Schließen, Analyse und Data Mining, Unsicherheit, Höhenmodellierung, 3D-Visualisierung, Integration und Fusion, Generalisierung, Raumkognition.

Im Vorfeld der Tagung wurden im Rahmen einer zweitägigen Veranstaltung, der [PreCARTO] 2006, praxis- und theorieorientierte Workshops, zukunftsweisende Impulsforen und kartographiebezogene Outdoor-Aktivitäten angeboten.

Verschiedene Diskussionsrunden und Impulsforen auf der [PreCARTO] gaben weiterhin die Möglichkeit, zu ausgewählten Themen der Kartographie Stellung zu nehmen und Anregungen für neue Forschungsfelder zu geben. Hierzu wurden international anerkannte Fachleute eingeladen, Referate zu halten und die Diskussionen zu leiten.

ImpulsForum I: *Atlas Informationssysteme*.

Referenten: LORENZ HURNI (Schweiz, Interaktive Karteninformationssysteme – quo vaditis?), ALEXANDER PUCHER (Österreich, Kartographische Informationsarchitektur für Atlas-Informationssysteme), JOSEF AISTLEITNER (Österreich, RegionalAtlanten als grenzübergreifende Herausforderung – das Beispiel Tirol Atlas), WILLIAM CARTWRIGHT

(Australien, Using Non-immersive Multimedia to Build Surrogate Travel tools).

ImpulsForum II: *Topographische Kartographie und Geodaten*.

Referenten: DIETMAR GRÜNREICH (Deutschland, Die Aufgabe der topographischen Kartographie im Rahmen von Geodateninfrastrukturen), HANS-ULI FELDMANN (Schweiz, Künftige Kartengrafik der Schweizer Landeskarten), NOVIT KREITER (Schweiz, GIS-basiertes Kartenproduktionssystem als Teil der swisstopo-Geodateninfrastruktur), STEFAN WEIGL (Österreich, Von nationalen Topographischen Grunddaten zur weltumspannenden Navigationsdatenbank).

ImpulsForum III: *Visionen in der Kartographie*.

Referenten: MENNO-JAN KRAAK (Niederlande, Maps, influence and being influenced), WILLIAM CARTWRIGHT (Australien, Deconstructing the Atlas), MANFRED BUCHROITHNER (Deutschland, 3D and distorted geometries), GEORG GARTNER (Österreich, Ubiquitous Mapping).

Zum Einlesen in die Themenbereiche ist ein Sonderheft der Kartographischen Nachrichten mit Positionspapieren erschienen.

Zur Konferenz sind drei Tagungsbände mit den eingereichten Beiträgen erhältlich. Bei Interesse kann sich an [info@gicon2006.at](mailto:info@gicon2006.at) gewendet werden.

Den lokalen Organisatoren – allen voran Prof. WOLFGANG KAINZ, Dr. KAREL KRIZ und Dr. ANDREAS RIEDL, sowie den vielen anderen engagierten Mitgliedern des Organisationsteams – ist eine sehr interessante und anregende Konferenz gelungen. Vielen Dank für die schöne Zeit in Wien.

FRAUKE HEINZLE, Hannover

## Hochschulnachrichten

### Universität Osnabrück

Dipl.-Umweltwiss., Dipl.-Ing. (FH) ANSGAR GREIWE promovierte im Mai 2006 an der Universität Osnabrück, Fachbereich Mathematik/Informatik mit der Arbeit: *Detektion von Referenzspektren in multisensorialen Bilddaten* zum Dr. rer. nat.

1. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. MANFRED EHLERS, Institut für Geoinformatik und Fernerkundung, Universität Osnabrück
2. Gutachter: Prof. Dr. rer. nat. HERMANN KAUFMANN, GeoForschungsZentrum Potsdam, Bereich Fernerkundung

#### Kurzfassung

Liegen für ein Untersuchungsgebiet hyperspektrale und geometrisch hoch aufgelöste Bilddaten unterschiedlicher Sensoren vor, liegt eine kombinierte Nutzung der Datenquellen nahe. In einem durch den Autor der Arbeit entwickelten entscheidungsbasierten Fusionsansatz wird die Klassifikationsgenauigkeit von Bildsegmenten geometrisch hoch aufgelöster Bilddaten durch die Einbindung zusätzlicher Materialinformationen gesteigert. Diese werden aus den hyperspektralen Bilddaten durch ein Klassifikationsverfahren zur Materialdetektion, dem Spectral Angle Mapper, abgeleitet. Die zur Auswertung der hyperspektralen Bilddaten notwendigen Referenzspektren wurden in bisherigen Untersuchungen manuell definiert. Nachteil dieser manuellen Referenzspektrenselektion ist die subjektive Auswahl der hyperspektralen Bildpixel, deren Spektren als Referenz in die Analyse eingehen.

In dieser Arbeit wird ein Verfahren zur automatischen segmentbasierten Referenzspektrenselektion vorgestellt, dessen Konzept auf der Berechnung der spektralen Ähnlichkeit so genannter Referenzkandidaten und die anschließende Gruppierung ähnlicher Bildpixel basiert. Hierzu wird in einem ersten Schritt eine Untermenge der Pixel der hyperspektralen Bilddaten als Referenzkandidaten definiert. Diese Kandida-

ten werden durch eine Überlagerungsoperation mit Bildsegmenten der geometrisch hoch aufgelösten Bilddaten ermittelt. Sie stammen somit aus visuell homogenen Bildregionen, eine Existenz von Kandidaten, die aus zwei unterschiedlichen Materialien bestehen, kann somit nahezu ausgeschlossen werden. Ein Maß für die spektrale Ähnlichkeit der Referenzkandidaten wird durch die Berechnung der Korrelationskoeffizienten ihrer Reflektanzspektren ermittelt. Die Gruppierung spektral ähnlicher Kandidaten erfolgt durch ein dichte-basiertes Clustering. Die Referenzspektren werden abschließend durch die Mittelung der Einzelspektren eines Clusters erzeugt.

Die Leistungsfähigkeit des vorgestellten Gesamtkonzeptes zur automatisierten segmentbasierten Referenzspektrenselektion wird in einer Konzeptstudie mit ausgewählten Referenzflächen für elf unterschiedliche Materialien demonstriert. In einer abschließenden Auswertung eines Testgebietes wird die Anwendbarkeit des Konzeptes nachgewiesen.

Die Arbeit steht online zum Download unter: <http://elib.ub.uni-osnabrueck.de/cgi-bin/diss/user/catalog?search=sqn&sqn=556>

### Technische Universität Dresden

Am 14. Oktober 2005 promovierte Diplom-Geograph MARCO NEUBERT an der Fakultät Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften der Technischen Universität Dresden zum Dr. rer. nat.

Gutachter: Prof. Dr. habil. ELMAR CSAPLOVIC, TU Dresden, Univ.-Prof. Mag. Dr. THOMAS BLASCHKE, Universität Salzburg, Dr.-Ing. GOTTHARD MEINEL, Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung Dresden.

Das Thema der Dissertation lautete: *Bewertung, Verarbeitung und segmentbasierte Auswertung sehr hoch auflösender Satellitenbild-*

*daten vor dem Hintergrund landschaftsplanerischer und landschaftsökologischer Anwendungen.*

### **Zusammenfassung**

Die Fernerkundung war in den vergangenen Jahren von einschneidenden Umbrüchen gekennzeichnet, die sich besonders in der stark gestiegenen geometrischen Bodenauflösung der Sensoren und den damit einhergehenden Veränderungen der Verarbeitungs- und Auswerteverfahren widerspiegeln. Sehr hoch auflösende Satellitenbilddaten – definiert durch eine Auflösung zwischen einem halben und einem Meter – existieren seit dem Start von IKONOS Ende 1999. Etwa im selben Zeitraum wurden extrem hoch auflösende digitale Flugzeugkameras (0,1 bis 0,5 m) entwickelt. Dieser Arbeit liegen IKONOS-Daten mit einer Auflösung von einem Meter (panchromatischer Kanal) bzw. vier Metern (Multispektraldaten) zugrunde.

Bedingt durch die Eigenschaften sehr hoch aufgelöster Bilddaten (z. B. Detailgehalt, starke spektrale Variabilität, Datenumenge), lassen sich bisher verfügbare Standardverfahren der Bildverarbeitung nur eingeschränkt anwenden. Die Ergebnisse der in dieser Arbeit getesteten Verfahren verdeutlichen, dass die Methoden- bzw. Softwareentwicklung mit den technischen Neuerungen nicht Schritt halten konnte. Einige Verfahren werden erst allmählich für sehr hoch auflösende Daten nutzbar (z. B. atmosphärisch-topographische Korrektur).

Die vorliegende Arbeit zeigt, dass Daten dieses Auflösungsgebietes mit bisher verwendeten pixelbasierten, statistischen Klassifikationsverfahren nur unzulänglich ausgewertet werden können. Die hier untersuchte Anwendung von Bildsegmentierungsmethoden hilft, die Nachteile pixelbasierter Verfahren zu überwinden. Dies wurde durch einen Vergleich pixel- und segmentbasierter Klassifikationsverfahren belegt. Im Rahmen einer Segmentierung werden homogene Bildbereiche zu Regionen verschmolzen, welche die Grundlage für die anschließende Klassifikation bilden. Hierzu stehen über die spektralen Eigenschaften

hinaus Form-, Textur- und Kontextmerkmale zur Verfügung. In der verwendeten Software eCognition lassen sich diese Klassifikationsmerkmale zudem auf Grundlage des *fuzzy-logic*-Konzeptes in einer Wissensbasis (Entscheidungsbaum) umsetzen. Ein Vergleich verschiedener, derzeit verfügbarer Segmentierungsverfahren zeigt darüber hinaus, dass sich mit der genutzten Software eine hohe Segmentierungsqualität erzielen lässt.

Der wachsende Bedarf an aktuellen Geobasisdaten stellt für sehr hoch auflösende Fernerkundungsdaten eine wichtige Einsatzmöglichkeit dar. Durch eine gezielte Klassifikation der Bilddaten lassen sich Arbeitsgrundlagen für die hier betrachteten Anwendungsfelder Landschaftsplanung und Landschaftsökologie schaffen. Die dargestellten Beispiele von Landschaftsanalysen durch die segmentbasierte Auswertung von IKONOS-Daten zeigen, dass sich eine Klassifikationsgüte von 90 % und höher erreichen lässt. Zudem können die infolge der Segmentierung abgegrenzten Landschaftseinheiten eine Grundlage für die Berechnung von Landschaftsstrukturmaßen bilden.

Nationale Naturschutzziele sowie internationale Vereinbarungen zwingen darüber hinaus zur kontinuierlichen Erfassung des Landschaftsinventars und dessen Veränderungen. Fernerkundungsdaten können in diesem Bereich zur Etablierung automatisierter und operationell einsatzfähiger Verfahren beitragen. Das Beispiel Biotop- und Landnutzungskartierung zeigt, dass eine Erfassung von Landnutzungseinheiten mit hoher Qualität möglich ist. Bedingt durch das Auswerteverfahren sowie die Dateneigenschaften entspricht die Güte der Ergebnisse noch nicht vollständig den Ansprüchen der Anwender, insbesondere hinsichtlich der erreichbaren Klassifikationstiefe. Die Qualität der Ergebnisse lässt sich durch die Nutzung von Zusatzdaten (z. B. GIS-Daten, Objekthöhenmodelle) künftig weiter steigern.

Insgesamt verdeutlicht die Arbeit den Trend zur sehr hoch auflösenden digitalen Erdkunde. Für eine breite Nutzung die-

ser Datenquellen ist die weitere Entwicklung automatisierter und operationell anwendbarer Verarbeitungs- und Analysemethoden unerlässlich.

Die Dissertation ist in der Schriftenreihe *Fernerkundung und angewandte Geoinformatik* (Hrsg. Prof. Dr. E. CSAPLOVICS), Band 1, Rhombos-Verlag, Berlin, 180 S., ISBN 3-938807-20-2 erschienen, Bestellung unter: [www.rhombos.de](http://www.rhombos.de)

## Buchbesprechung

THOMAS LUHMANN & CHRISTINA MÜLLER, (Hrsg.), *Photogrammetrie – Laserscanning – Optische 3D-Messtechnik*. Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2006: XI, 372 S., 1 CD, Kartoniert. ISBN 10: 3-87907-436-6 ISBN 13: 978-3-87907-436-5. Herbert Wichmann, Hüthig Fachverlage, Heidelberg. [www.huethig.de](http://www.huethig.de)

Anfang Februar dieses Jahres trafen sich Fachleute aus den Bereichen Photogrammetrie, Laserscanning und optische 3D-Messtechnik am Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik (IAPG) der Fachhochschule Oldenburg/Ostfriesland/Wilhelmshaven, um an den zum fünften Mal ausgerichteten Oldenburger 3D-Tagen teilzunehmen. Über diese Veranstaltung wurde bereits von D. SCHNEIDER in Heft 3/2006 der PFG, S. 239/240 berichtet. Inzwischen ist

der Tagungsband erschienen. Die 42 abgedruckten Beiträge sind thematisch geordnet, d. h. auf den Einführungsvortrag von Prof. H. SCHLEMMER *Geodäsie und Geoinformation – n-dimensional?* folgen die Themenblöcke Photogrammetrie, Optische 3D-Messverfahren, Kalibrierung, Algorithmen, Laserscanning (Genauigkeitsuntersuchungen, Modellierung, Anwendungsbeispiele) und Herstellerforum. Die beigelegte CD enthält sämtliche Vortragsfolien als Power-Point- bzw. PDF-Dateien, nicht aber die Beiträge selbst.

Der Tagungsband ist sehr gut geeignet für jeden, der an aktuellen Informationen über die genannten Fachgebiete interessiert ist, insbesondere an der Mischung aus Forschung, Anwendung und Herstellerangaben.

JÜRGEN PEIPE, Neubiberg

## Vorankündigungen

### 2006

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

4./5. Dezember: Geological Remote Sensing Group Annual Meeting **Remote Sensing for Earth Resources: exploration, extraction & environmental impacts in London**. Auskünfte

durch: GRSG Conference Committee, e-mail: [GRSG2006@yahoo.com](mailto:GRSG2006@yahoo.com), <http://www.grsg.org/meeting.html>

4./5. Dezember: **ISPRS 6<sup>th</sup> International Workshop on Web & Wireless Geographical Information Systems (W2 GIS 2006)** in **HongKong**. Auskünfte durch: Hui Lin, Tel.: +852-2609 6538, Fax: +852-2603 7470, e-mail: [huilin@cuhk.edu.hk](mailto:huilin@cuhk.edu.hk) [www.dl.kuis.kyoto-u.ac.jp/w2gis06/](http://www.dl.kuis.kyoto-u.ac.jp/w2gis06/)

6.–8. Dezember: **Conference on Business GIS “b-GIS@India“** in **Trivandrum**, Indien. Auskünfte durch: Conference Secretariat, e-mail: [bgisindia.info@gisesociety.org](mailto:bgisindia.info@gisesociety.org), <http://www.gisesociety.org/bgisindia/>

#### 2007

22.–25. Januar: **Map World Forum** in **Hyderabad**, Indien. Auskünfte durch: Secretariat, Tel.: +91-120-250 2180, Fax: +91-120-2500811, e-mail: [info@mapworldforum.org](mailto:info@mapworldforum.org), [www.mapworldforum.org](http://www.mapworldforum.org)

29./30. Januar: **ISPRS WG V/4 Workshop within IS&T/SPIE 19<sup>th</sup> Annual Symposium on Electronic Imaging-Videometrics IX** in **San Jose**, CA, USA. Auskünfte durch: Jeanne Anderson, e-mail: [jeannea@SPIE.org](mailto:jeannea@SPIE.org) oder Fabio Remondino, e-mail: [fabio@geod.baug.ethz.ch](mailto:fabio@geod.baug.ethz.ch), <http://electronicimaging.org/>

31. Januar/1. Februar: **6. Oldenburger 3D-Tage 2007. Photogrammetrie-Laserscanning-Optische 3D-Messtechnik**. Auskünfte durch: Prof. Thomas Luhmann, Institut für Angewandte Photogrammetrie und Geoinformatik und Institut für Mess- und Auswertetechnik der FH Oldenburg. [www.fh-oow.de/3dtage](http://www.fh-oow.de/3dtage)

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

19.–24. Februar: **International Conference on Environment: Survival & Sustainability (ESS2007)** in **Nicosia**, Nord Zypern. Auskünfte durch: Conference Secretariat, e-mail: [ess2007@neuconference.org](mailto:ess2007@neuconference.org), <http://www.neuconference.org/>

7.–9. März: **12. Münchner Fortbildungsseminar „Geoinformationssysteme“**. Leitung:

Prof. M. Schilcher. Auskünfte durch: Runder Tisch GIS e.V. und TU München, FG Geoinformationssysteme, Arcisstr. 21, 80290 München. <http://www.rundertischgis.de>; vollständiges Programm und Anmeldung: [www.rtg.bv.tum.de/index.php/article/archive/18/](http://www.rtg.bv.tum.de/index.php/article/archive/18/), Tel.: +49-89-2892 28 49, Fax: +49-89-2892 28 78, e-mail: [roland.dietrich@bv.tum.de](mailto:roland.dietrich@bv.tum.de)

12.–14. März: **ISPRS WG VII/1 Joint 10<sup>th</sup> International Symposium on Physical Measurement & Signatures in Remote Sensing** in **Davos**, Schweiz. Auskünfte durch: Michael Schaepman, e-mail: [Michael.Schaepman@wur.nl](mailto:Michael.Schaepman@wur.nl) oder Dr. Mathias Kneubuehler, e-mail: [kneub@geo.unizh.ch](mailto:kneub@geo.unizh.ch), <http://www.isprs07.org>

11.–13. April: **4<sup>th</sup> IEEE GRSS und ISPRS WG III/2+5, VIII/1, VII/4 Joint Workshop on Remote Sensing & Data Fusion over Urban Areas** and **6<sup>th</sup> International Symposium on Remote Sensing of Urban Areas** in **Paris**. Auskünfte durch: Paolo Gamba, e-mail: [paolo.gamba@unipv.it](mailto:paolo.gamba@unipv.it) oder [urban\\_2007@unipv.it](mailto:urban_2007@unipv.it) oder Carsten Jürgens, e-mail: [carsten.juergens@rub.de](mailto:carsten.juergens@rub.de), <http://tlc.unipv.it/urban-remote-sensing-2007/>

17.–20. April: **Internationaler Ingenieurvermessungskurs** in **Graz**. Tagungsleiter: Prof. Dr. Fritz K. Brunner, TU Graz, Institut für Ingenieurgeodäsie und Messsysteme. Informationen: [www.iv2007.tugraz.at](http://www.iv2007.tugraz.at)

23.–25. April: **ISPRS WG VII/1+3 Joint 5<sup>th</sup> EARSeL SIG IS Workshop „Imaging Spectroscopy: Innovation in Environmental Research“** in **Bruges**, Belgien. Auskünfte durch: Ms. June Cools, e-mail: [june.cools@vito.be](mailto:june.cools@vito.be) oder Walter Debruyn (Co-Chair WG VII/3), e-mail: [walter.debruyn@vito.be](mailto:walter.debruyn@vito.be), <http://5thearselsigis.vgt.vito.be/>

7.–11. Mai: **ASPRS Annual Conference „Identifying Geospatial Solutions“** in **Tampa**, FL, USA. Auskünfte durch: ASP RS, e-mail: [asprs@asprs.org](mailto:asprs@asprs.org), <http://www.asprs.org/tampa2007/>

29.–31. Mai: **ISPRS IC WG I/V + V/I, WG I/2 + 3 5<sup>th</sup> International Symposium on Mobile Mapping Technology (MMT2007) in Padua**, Italien. Auskünfte durch: Dr. Naser El-Sheimy, Chair IC WG I/V, Tel.: +1-403-220-7587, Fax: +1-403-284-1980, e-mail: naser@geomatics.ucalgary.ca, www.cirgeo.unipd.it/sitocirgeo/mmt\_frst.html

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

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

13.–15. Juni: **ISPRS WG II/7 Workshop 5<sup>th</sup> International Symposium on Spatial Data Quality in Enschede**, Niederlande. Auskünfte durch: Wenzhong SHI, Tel.: +852-2766-5975, Fax: +852-2330-2994, e-mail: lswzshi@polyu.edu.hk, http://www.itc.nl/issdq2007

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

23.–27. Juni: **IEEE/IGARSS 2007** with **ISPRS WG VII/4** Joint session in **Barcelona**. Auskünfte durch: IEEE Conference Services, e-mail: conference-services@ieee.org oder Roman Arbiol (Chair WG VII/4), e-mail: arbiol@icc.es, www.grss-ieee.org/

25.–29. Juni: **32<sup>nd</sup> International Symposium on Remote Sensing of Environment: Sustainable Development through Global Earth**

**Observation** with **ISPRS WG VII/6** special session in **San Jose**, Costa Rica. Auskünfte durch: Chiyo Yamashita-Gill, Tel.: +520-621-8567, Fax: +520-621-7834, e-mail: chio@ag.arizona.edu oder Jie Shan (Co-Chair WG VII/6), e-mail: jshan@ecn.purdue.edu, www.symposia.org

27.–29. Juni: **Joint Workshop** von **ISPRS WG II/3 + 5, IV/4 + 6** und **DGfK „Visualization & Exploration of Geospatial Data“** in **Stuttgart**. Auskünfte durch: Prof. Jochen Schiewe, e-mail: jschiewe@igf.uni-osnabrueck.de oder Prof. Michael Hahn, e-mail: michael.hahn@hft-stuttgart.de, www.igf.uni-osnabrueck.de/isprs07/

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

18.–20. Juli: **4<sup>th</sup> Bi-annual International Workshop on the Analysis of Multitemporal Remote Sensing Data (MULTI TEMP-2007)** in **Leuven**, Belgien. Auskünfte durch: Dr. Pol Coppin, Tel.: +32-16-32 1622, Fax: +32-16-32 1999, e-mail: multitemp-2007@biw.kuleuven.be

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

12.–14. September: **ISPRS WG I/4, IV/9 Workshop & Annual Conference of the Remote Sensing and Photogrammetry Society (RSPSoc) 2007** in **Newcastle upon Tyne, UK**. Auskünfte durch: Jon Mills, e-mail: j.p.mills@ncl.ac.uk und David Holland, e-mail: david.holland@ordnancesurvey.co.uk, http://www.rspso.org



12.–14. September: **ISPRS WG III/3, III/4, V/3 Workshop on Laser Scanning – LS2007** in **Espoo**, Finnland. Auskünfte durch: Juha Hyypä, Tel.: +358-9-2955-5305, Fax: +358-9-2955-5200, e-mail: juha.hyypa@fgi.fi

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

19.–23. September: **Conference on Spatial Information Theory (COSIT)** in **Melbourne**, Australien. Auskünfte durch: Stephan Winter, Tel.: +61-3-8344-7875, Fax: +61-3-9347-2916, e-mail: winter@unimelb.edu.au, http://www.cosit.info

24.–26. September: 8<sup>th</sup> Conference **Optical 3D Measurement Techniques** in **Zürich**. Auskünfte durch: Liliane Steinbruckner, e-mail: stein@geod.baug.ethz.ch oder Prof. A. Grün, e-mail: agruen@geod.baug.ethz.ch

25.–27. September: **ISPRS WG VII/6+7 joint Conference on Techniques & Applications of Optical & SAR Imagery Fusion “Mapping without the Sun“** in **Chengdu**, China. Auskünfte durch: Jixian Zhang, e-mail: zhangjx@casm.ac.cn, www.commission7.isprs.org/wg6

1.–6. Oktober: **ISPRS XXI CIPA International Symposium** in **Athen**. Auskünfte durch Organizing Committee, e-mail: cipa thens\_2007@survey.ntua.gr, Congress Secretariat, e-mail: Cipa07\_sec@triaenatou rs.gr, http://www.survey.ntua.gr/hosted/ci pathens\_2007/

13.–16. November: **ISPRS WG I/6 Workshop on Earth Observation Small Satellites for Remote Sensing Applications** in **Kuala Lumpur**, Malaysia. Auskünfte durch: Mazlan Hashim, Tel.: +60-7-553 0873, Fax: +60-7-55 6163, e-mail: mazlan@fksg.utm.my, www.commission1.isprs.org/wg6

15.–17. November: **ISPRS WG VII/7 Workshop** in **Riaydh**, Saudi-Arabien. Auskünfte durch: Dr. Sultan Al Sultan, Tel.: +966-60-0050, e-mail: rsensing\_2004@yahoo.com

## 2008

14.–19. Juni: **FIG XXXI General Assembly & Working Week** in **Stockholm**. Auskünfte durch: FIG Office, e-mail: fig@fig.net, www.fig.net/events/2008/fig\_2008\_stockholm.pdf

3.–11. Juli: **XXI ISPRS Kongress** in **Beijing**, China. Auskünfte durch: Prof. Chen Jun (Congress Director), e-mail: congressdirector@isprs2008-beijing.org oder Mr. Wang Qian, Tel.: +86-10-6834 6614, Fax: +86-10-6831 1564, e-mail: loc@isprs2008-beijing.org, http://www.isprs2008-beijing.org/



**DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR  
PHOTOGRAMMETRIE, FERNERKUNDUNG  
UND GEOINFORMATION (DGPF) e.V.**

**Satzung**

Stand: 12. September 2006

**I****Rechtsform und Zweck der Gesellschaft**

## § 1

Die Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) e.V. ist ein eingetragener Verein und hat ihren Sitz in München. Sie wurde am 9. November 1949 in das Vereinsregister des Amtsgerichts München, Registergericht, unter Band 39 Nr. 77 eingetragen. Die DGPF ist Mitglied der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung.

## § 2

Die Gesellschaft will die Photogrammetrie, die Fernerkundung sowie das Geoinformationswesen pflegen, deren Vervollkommnung, Verbreitung und Geltung fördern, zur Anwendung in den verschiedenen Zweigen der Wissenschaft, Kunst und Technik beitragen und Erfahrungen austauschen.

Die Gesellschaft verfolgt ausschließlich und unmittelbar gemeinnützige Zwecke im Sinne des Abschnitts »Steuerbegünstigte Zwecke« der Abgabenordnung. Sie ist selbstlos tätig und erstrebt keinerlei Gewinn.

Die Mittel der Gesellschaft dürfen nur für die satzungsmäßigen Zwecke verwendet werden. Die Mitglieder erhalten keine Zuwendungen aus den Mitteln der Gesellschaft. Es darf keine Person durch Ausgaben, die dem Zweck der Gesellschaft fremd sind, oder durch unverhältnismäßig hohe Vergütungen begünstigt werden.

**II****Mittel zum Erreichen des Gesellschaftszweckes**

## § 3

Der Zweck der Gesellschaft soll erreicht werden durch:

- a) Tagungen und Sitzungen;
- b) Abhalten von fachwissenschaftlichen und aufklärenden Vorträgen;
- c) Einrichtung und Unterstützung von fachspezifischen Arbeitskreisen;
- d) Unterstützung von fachrelevanten Veranstaltungen;

- e) Herausgabe einer Zeitschrift mit Fachaufsätzen, Berichten, Schrifttumsnachrichten und Mitteilungen der Gesellschaft sowie anderer Veröffentlichungen;
- f) Austausch von Druckschriften und Mitteilungen mit anderen wissenschaftlichen Gesellschaften;
- g) Anregungen zur Förderung der Ausbildung an den wissenschaftlichen und technischen Ausbildungsstätten;
- h) Korporative Mitgliedschaft in Fachorganisationen.

Zur Absicherung der Kontinuität der Herausgabe der Zeitschrift bildet die Gesellschaft eine zweckgebundene Rücklage bis zur Höhe der doppelten Jahreskosten der Zeitschrift.

**III****Mitgliedschaft**

## § 4

Die Mitglieder sind entweder Einzelmitglieder oder korporative Mitglieder.

Mitglied können alle volljährigen Interessenten, Fachleute und Freunde der Photogrammetrie, der Fernerkundung und des Geoinformationswesens sowie korporative Rechtspersonen werden.

Wer Mitglied werden will, hat seine Aufnahme schriftlich zu beantragen. Über die Aufnahme entscheidet der Vorstand, der seinen Beschluss dem Antragsteller bekannt gibt. Der Vorstand ist nicht verpflichtet, Gründe für seine Entscheidung bekannt zu geben. Bei einem Mitglied, das mit seinen Zahlungsverpflichtungen länger als ein Jahr im Rückstand ist, ruhen die Verpflichtungen der Gesellschaft.

Persönlichkeiten, die sich besondere Verdienste um die Photogrammetrie, die Fernerkundung und das Geoinformationswesen oder um die Gesellschaft erworben haben, können auf Beschluss einer Mitgliederversammlung durch den Präsidenten der Gesellschaft zu Ehrenmitgliedern ernannt werden. Der Beschluss ist mit mindestens Dreiviertelmehrheit der bei der Mitgliederversammlung anwesenden Mitglieder zu fas-

sen. Ehrenmitglieder genießen sämtliche Mitgliedsrechte, sind jedoch von der Beitragspflicht befreit.

Ferner kann die Mitgliederversammlung einen Ehrenpräsidenten der Gesellschaft ernennen.

Einzelne Persönlichkeiten, auf deren Zugehörigkeit zur Gesellschaft Wert gelegt wird, können vom Vorstand um Annahme der Mitgliedschaft gebeten werden. Sie werden bei ihrer Zustimmung Mitglied der Gesellschaft und sind von der Beitragspflicht befreit.

Einzelmitglieder, welche als einmaligen Beitrag mindestens das Fünfundzwanzigfache des zurzeit der Zahlung für Einzelmitglieder festgesetzten vollen Jahresbeitrages stiften, gelten als Förderer der Gesellschaft. Sie genießen alle Mitgliedsrechte, sind jedoch von weiteren Beitragszahlungen befreit.

#### § 5

Die Mitgliedschaft erlischt bei freiwilligem Austritt. Dieser muss dem Präsidenten der Gesellschaft schriftlich erklärt werden und ist nur zum Ablauf eines Kalenderjahres zulässig.

Die Mitgliedschaft erlischt durch Ausschluss. Ein Mitglied kann von der Gesellschaft ausgeschlossen werden, wenn es durch sein Verhalten das Ansehen der Gesellschaft schädigt oder ihren Interessen entgegenarbeitet. Dem Auszuschließenden ist befristete Gelegenheit zur Stellungnahme gegeben. Der Ausschluss erfolgt durch Beschluss des Vorstandes, der von der nächsten Mitgliederversammlung bestätigt werden muss. Bis dahin ist der Ausschluss bedingt wirksam.

Die Mitgliedschaft erlischt durch Streichung aus den Listen der Gesellschaft. Die Streichung kann durch den Vorstand der Gesellschaft erfolgen, wenn das Mitglied zwei Jahre hindurch trotz mehrfacher Mahnung seinen Zahlungsverpflichtungen weder genügt, noch einen begründeten Antrag auf Stundung oder Herabsetzung seiner Verpflichtungen eingereicht hat. In begründeten Fällen kann der Präsident den Wiedereintritt in die Gesellschaft genehmigen.

Mit Austritt, Ausschluss oder Streichung erlischt jeder Anspruch aus der Mitgliedschaft, insbesondere jedes Recht auf das Vermögen der Gesellschaft, dagegen erlischt nicht die Verpflichtung zur Zahlung rückständiger Beiträge.

### IV

#### Mitgliedsbeitrag

##### § 6

Die Mitgliedsbeiträge sind bestimmt zur Bestreitung der Kosten, die aus der Tätigkeit der Gesellschaft gemäß § 3 und aus der Geschäftsordnung erwachsen.

Die Höhe der Beiträge wird von der Mitgliederversammlung festgesetzt. Der Vorstand kann auf begründeten Antrag Beiträge ermäßigen oder stunden.

Der Mitgliedsbeitrag ist in voller Höhe bis zum Ablauf des ersten Monats an den Schatzmeister zu entrichten.

### V

#### Vorstand, Geschäftsführung

##### § 7

Der Vorstand der Gesellschaft besteht aus

- dem Präsidenten,
- dem Vizepräsidenten,
- dem Sekretär,
- dem Schatzmeister und
- dem Hauptschriftleiter der Zeitschrift.

Sie sind Vorstand im Sinne von § 26 BGB. Die Gesellschaft wird durch zwei Mitglieder des Vorstands vertreten, darunter muss sich der Präsident oder der Vizepräsident befinden. Der Präsident ist für die Dauer seiner Amtszeit zugleich auch Vertreter der Gesellschaft bei der Internationalen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung.

Es können zwei Ämter in einer Person vereinigt werden, unter besonderen Umständen auch mehrere Ämter.

Nach Bedarf können Beiräte bestellt werden.

Der Präsident und auf seinen Vorschlag der Vizepräsident, der Sekretär, der Schatzmeister, der Hauptschriftleiter sowie die Beiräte werden von der ordentlichen Mitgliederversammlung gewählt. Wird während der laufenden Amtszeit die Stelle eines

Vorstandsmitgliedes frei, so hat der Präsident oder der Vizepräsident sie bis zur Mitgliederversammlung neu zu besetzen.

#### § 8

Für die Amtszeit des Vorstandes hat die Mitgliederversammlung zwei Kassenprüfer sowie einen oder zwei Vertreter zu bestellen, ohne deren Bericht nicht über die Entlastung des Vorstandes entschieden werden kann.

#### § 9

Der Hauptschriftleiter kann zur Unterstützung seiner Arbeit in Absprache mit dem Vorstand weitere Schriftleiter hinzuziehen.

#### § 10

Zur Unterstützung des Vorstandes, insbesondere zur Vorbereitung und Durchführung von Mitgliederversammlungen und Zusammenkünften (§§ 17 und 18), kann der Präsident für größere örtliche Bereiche Obmänner ernennen. Die Obmänner können im Einverständnis mit dem Präsidenten jeweils einen Schriftführer ernennen und erforderlichenfalls zur Unterstützung ihrer Arbeit Ausschüsse aufstellen.

#### § 11

Für die in den §§ 7 bis 10 genannten Stellen sind Einzelmitglieder wählbar. Sie sind ehrenamtlich tätig, erhalten jedoch ihre Barauslagen aus der Kasse der Gesellschaft vergütet. Größere Ausgaben sind dem Vorstand vorher anzuzeigen und von diesem zu genehmigen.

#### § 12

Der Präsident bestimmt die Geschäftseinteilung des Vorstandes nach Anhören der übrigen Vorstandsmitglieder. Verträge, Urkunden und andere rechtsverbindliche Schriftstücke werden vom Präsidenten oder vom Vizepräsidenten gezeichnet. Laufenden Schriftwechsel, den ein Vorstandsmitglied gemäß der Geschäftseinteilung zu führen hat, zeichnet er selbstständig mit seinem Namen.

Sitzungen des Vorstandes werden vom Präsidenten oder, falls dieser verhindert ist, vom Vizepräsidenten einberufen. Für die Beschlussfassung gelten die Bestimmungen

über die Mitgliederversammlung entsprechend. Über die Sitzungen des Vorstandes ist eine Niederschrift anzufertigen und vom Präsidenten und vom Sekretär zu unterzeichnen.

#### § 13

Der Präsident entscheidet über die Ausgabe von Druckschriften. Über grundsätzliche Fragen, die die Ausgabe von Druckschriften betreffen, sind nach Möglichkeit alle Vorstandsmitglieder zu hören.

Über die Ausgabe der Zeitschrift beschließt die Mitgliederversammlung. Die von der Gesellschaft herausgegebene Zeitschrift sowie andere Druckschriften werden den Mitgliedern kostenlos übersandt und zwar auch korporativen Mitgliedern nur in je einem Stück. Welche Druckschriften den Mitgliedern zugehen, die ermäßigte Beiträge bezahlen (z. B. Studierende), bestimmt der Vorstand. Für die Lieferung zusätzlicher Stücke bestimmt der Vorstand den Preis der Druckschriften von Fall zu Fall.

### VI

#### Mitgliederversammlung

#### § 14

Die ordentliche Mitgliederversammlung ist etwa alle zwei Jahre, spätestens noch im Laufe des dritten Jahres seit der letzten ordentlichen Mitgliederversammlung einzuberufen. Die Einberufung erfolgt durch den Präsidenten. Außerdem kann der Vorstand außerordentliche Mitgliederversammlungen einberufen, wenn ihm dies notwendig erscheint. Auf Antrag von mindestens 1/10 der Mitglieder muss der Vorstand eine außerordentliche Mitgliederversammlung binnen acht Wochen einberufen. Ort und Zeit sowie Tagesordnung einer Mitgliederversammlung sind sämtlichen Mitgliedern spätestens drei Wochen vorher durch besondere schriftliche Einladung mitzuteilen.

Die Tagesordnung der ordentlichen Mitgliederversammlung hat mindestens folgende Punkte zu enthalten:

1. Geschäftsbericht des Vorstandes,
2. Geschäftsbericht des Schatzmeisters,
3. Bericht der Kassenprüfer,
4. Entlastung des Vorstandes,

5. Wahl des Präsidenten und der übrigen Mitglieder des Vorstandes,
6. Wahl der Kassenprüfer.

Anträge, die auf einer Mitgliederversammlung besprochen werden sollen, sind dem Präsidenten spätestens zwei Wochen vor dem Versammlungstermin schriftlich mitzuteilen. In Ausnahmefällen können verspätet oder während der Mitgliederversammlung gestellte Anträge im Einverständnis mit der Mitgliederversammlung beraten werden.

Außer den genannten Punkten der Tagesordnung bleiben der Entscheidung der Mitgliederversammlung vorbehalten:

- Beschlüsse über
- Höhe der Beiträge,
- Satzungsänderungen,
- Wahl des Ehrenpräsidenten und der Ehrenmitglieder,
- Richtlinien für die Zeitschrift der Gesellschaft,
- wichtige Angelegenheiten, die den Bestand der Gesellschaft berühren.

#### § 15

Jede ordnungsmäßig einberufene Mitgliederversammlung ist beschlussfähig. Beschlüsse werden mit einfacher Stimmenmehrheit gefasst, mit Ausnahme von Satzungsänderungen sowie der Wahl des Ehrenpräsidenten und der Ehrenmitglieder, für die wenigstens eine Mehrheit von 3/4 der anwesenden stimmberechtigten Mitglieder nötig ist.

Die stimmberechtigten korporativen und Einzelmitglieder haben gleichermaßen je eine Stimme. Bei Stimmgleichheit entscheidet der Präsident.

#### § 16

Der Präsident der Gesellschaft leitet die Mitgliederversammlung. Er kann wichtige Beschlüsse vom Vorstand zu ernennenden Ausschüssen zur Vorberatung übertragen und hat von dem Ergebnis dieser Vorbereitung den Mitgliedern vor oder in der Mitgliederversammlung Kenntnis zu geben.

Während der Neuwahl des Präsidenten übernimmt ein vom Vorstand vorgeschlagenes, von der Versammlung bestätigtes Mitglied die Leitung der Wahlhandlung.

Über den Verlauf der Mitgliederversammlung hat der Sekretär eine Niederschrift anzufertigen, die von ihm und dem Präsidenten zu zeichnen ist. Gefasste Beschlüsse sind wörtlich in die Niederschrift aufzunehmen.

Über den Verlauf der Mitgliederversammlung und über ihre Beschlüsse ist den Mitgliedern nach den Vorschriften des § 13 ein gedruckter Bericht zuzusenden.

### VII

#### Veranstaltungen

##### § 17

Es ist anzustreben, dass jährlich eine Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung durchgeführt wird. Dabei sollen Ausstellungen von Arbeiten, Instrumenten usw., auch Besichtigungen von Instituten, Firmen und dgl. veranstaltet werden. Mitgliederversammlungen sollen im Rahmen der Jahrestagungen durchgeführt werden.

##### § 18

Außer den Jahrestagungen sind Zusammenkünfte der Arbeitskreise anzustreben, um den zwanglosen Meinungs-austausch und das Interesse an der Photogrammetrie, der Fernerkundung sowie am Geoinformationswesen zu fördern.

Dem Präsidenten der Gesellschaft ist von derartigen Veranstaltungen so rechtzeitig Mitteilung zu machen, dass der Vorstand die Veranstaltung durch Überweisung von Material unterstützen, ihre weitere Bekanntgabe veranlassen und an ihr teilnehmen kann.

### VIII

#### Auflösung der Gesellschaft

##### § 19

Die Auflösung der Gesellschaft kann nur auf einer ordnungsgemäß hierzu einberufenen Mitgliederversammlung durch Beschluss von mindestens 4/5 der von stimmberechtigten Mitgliedern abgegebenen Stimmen erfolgen.

Bei Auflösung oder Aufhebung der Gesellschaft oder bei Wegfall ihres bisherigen Zweckes fällt ihr Vereinsvermögen an eine Körperschaft des öffentlichen Rechts oder an eine andere steuerbegünstigte Körper-

schaft zur Verwendung für Zwecke im Sinne dieser Satzung. Diesbezügliche Entscheidungen sind vor dem Inkrafttreten dem zuständigen Finanzamt mitzuteilen.

München, den 15. September 1949  
gez. Finsterwalder  
Der Vorsitzende der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie

Satzungsänderungen lt. Protokoll der Mitgliederversammlungen vom

1. November 1983 in Münster,  
27. Oktober 1989 in Freiburg,  
19. September 1996 in Oldenburg und  
25. September 2002 in Neubrandenburg.

Satzungsänderung lt. Protokoll der Ordentlichen Mitgliederversammlung vom 12. September 2006 in Berlin  
gez. Prof. Dr. Thomas Luhmann  
Der Präsident der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) e.V.

## PFG-Autorenhinweise

### 1. Originalbeiträge

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

#### *Photogrammetrie • Fernerkundung • Geoinformation (PFG)*

werden „Originalbeiträge“ aus diesen Fachbereichen sowie „Berichte aus Forschung und Praxis“ und „Berichte und Mitteilungen“ veröffentlicht.

Die Manuskripte und die Korrespondenz dazu sind zu richten an die Schriftleiter:

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

– Prof. Dr. rer. nat. CARSTEN JÜRGENS  
Ruhr-Universität Bochum, Geographisches  
Institut, D-44780 Bochum, e-mail: carsten.  
juergens@rub.de oder:

– Dr.–Ing. ECKHARDT SEYFERT  
c/o Landesvermessung und Geobasisinfor-  
mation Brandenburg, Heinrich-Mann-Allee  
103 D-14473 Potsdam, e-mail: eckhardt.sey-  
fert@geobasis-bb.de

### 2. Manuskripte

Die Manuskripte sollen einen Umfang von 10 Druckseiten nicht überschreiten und der

Deutschen Norm für Photogrammetrie und Fernerkundung DIN 18716 entsprechen. Sie können in deutscher Sprache (Neue Deutsche Rechtschreibung) oder in englischer Sprache verfasst sein.

Vor der Bestätigung und Drucklegung von Originalbeiträgen erfolgt eine zweifache anonyme Begutachtung (double blind review) der Manuskripte durch zwei Reviewer.

Die Manuskripte bitte maschinen- bzw. computergeschrieben, 1-zeilig, 1-spaltig und mit einer Spaltenbreite von etwa 43 Anschlägen pro Zeile in TmsRmn sowie 52 Zeilen pro Seite als Text- und Bildausdruck und auf Diskette oder CD-ROM geschrieben einreichen.

Textbeiträge mit einem Umfang bis zu 10 MB können auch durch e-mail übermittelt werden.

Es soll eines der üblichen Textverarbeitungssysteme verwendet werden, vorrangig Microsoft Word.

### 3. Abbildungen

Abbildungen (Diagramme, Tafeln, Kartenausschnitte, Skizzen) und Tabellen sollen auf das endgültige Format (62 mm einspaltig oder 130 mm doppelspaltig) verkleinert sein.

#### 4. Rechte

Die Einreichung eines Manuskripts gilt als verbindliche Zusicherung, dass eine Veröffentlichung in dieser oder ähnlicher Form an anderer Stelle nicht erfolgt ist oder erfolgen wird. Mit der Annahme des Manuskripts geht das Recht zur Vervielfältigung und Verbreitung für alle Sprachen und Länder an die Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation (DGPF) über.

Die Autoren sind für den Inhalt der eingereichten Arbeiten verantwortlich.

Vereinheitlichungen, formale Änderungen und Verbesserungen erfolgen durch die Schriftleitung.

#### 5. Manuskriptgestaltung

##### *Sprache*

Auch Beiträge, die in einer anderen als der Muttersprache der (des) Verfasser(s) geschrieben sind, müssen sprachlich einwandfrei formuliert sein.

##### *Aufbau*

Titel der Arbeit (kurz und aussagekräftig) in deutscher und englischer Sprache, Vor- und Zunamen sowie Wohnort der (des) Verfasser(s), bis zu fünf „Keywords“ in Englisch, Zusammenfassung/ Summary (in englischer und deutscher Sprache), Text (Einleitung mit Problemstellung, Ausführung, Ergebnisse), Danksagung, Literatur.

Auf separaten Blättern: Legende der Abbildungen und Tabellen, wenn diese nicht im Text integriert sind.

##### *Abbildungen*

Im Text enthaltene Strichzeichnungen, Diagramme, Fotos und Tafeln sind als Abbildungen (z. B. **Abb. 1:**) zu bezeichnen, Messwerte, Messergebnisse in Tabellen (z. B. **Tab. 1:**) aufzuführen. Fotos, Zeichnungen, Plots, Diagramme sind digital möglichst in zweifacher Größe der späteren Wiedergabe einzureichen, die Buchstaben dürfen nach der Verkleinerung im Druck nicht niedriger als 1 mm sein.

##### *Fotos*

Auf glattem, weißem Papier abziehen und in digitaler Form einreichen (siehe auch fol-

gende Zeilen). Bitte die Abbildungen auf der Rückseite mit Bleistift und Druckschrift mit dem Autorennamen und der Abbinde-nummer kennzeichnen. Bildüber- und Bildunterschriften sind nicht auf den Abbildungen einzusetzen, sondern werden gesetzt. Für jede Illustration ist eine möglichst kurze und informative Abbildungsunterschrift (Legende) beizufügen.

Abbildungen in digitaler Form sind nach folgenden Kriterien einzureichen: Auflösung bei Fotografien: Minimum 300 dpi, bei Strichzeichnungen: 1000 dpi.

Datenträger: Syquest 5,25", Syquest 3,5", MOD 5,25", CD-ROM, ZIP, JAZ.

Programme (für Macintosh oder Microsoft DOS/Windows):

Quark Xpress 4.0 oder 3.31 (Layout)

Freehand 7.0 (Grafik)

Photoshop (Bildbearbeitung)

Illustrator 7.0 (Grafik)

Dateiformate: EPS, TIFF, JPEG

Bitte auf den Datenträgern alle Angaben, von der Auflösung bis zum Datenformat, sowie Autorennamen der jeweiligen Arbeit angeben.

#### 6. Titelbilder

Die 1. Umschlagseite steht Firmen/Institutionen für Werbezwecke zur Verfügung. Preis auf Anfrage. Vorschläge hierzu bitte an die Schriftleitung einreichen.

#### 7. Literatur

Beim Zitieren im Text werden Autornamen in Kapitälchen und das Jahr in Klammern gesetzt. Zwei Autorennamen werden mit & verbunden. Bei mehreren Autorennamen genügt die Nennung des ersten Autors mit dem Zusatz „et al.“.

Angeführte Schriften werden im alphabetisch und chronologisch geordneten Literaturverzeichnis zusammen aufgeführt. Zeitschriften: Name – Komma – abgekürzter Vorname – Punkt – Komma – Jahreszahl – Doppelpunkt – Titel – Punkt – Gedankenstrich – Zeitschrift (ausgeschrieben) – Komma – Jahrgang (**fett**) – Klammer mit Heftnummer – Doppelpunkt – Seite, Streckenstrich, Seite – Punkt. Einzelwerke: Name – Komma – abgekürzter Vorname – Komma



– Erscheinungsjahr: Titel des Werkes. Auflage – Zahl der Seiten, Verlag – Komma – Verlagsort.

Beispiele:

HUGERSHOFF, R., 1933: Gegenwärtiger Stand und Aussichten der Photogrammetrie als Hilfsmittel der Forstvermessung und Forsttaxation. – Bildmessung und Luftbildwesen, **8** (1): 1–6.

GAST, P., 1930: Vorlesungen über Photogrammetrie. – 1. Aufl., 328 S., Johann Ambrosius Barth, Leipzig.

#### **8. Anschrift**

Die Anschrift der (des) Verfasser(s) ist am Ende des Beitrages mit der vollständigen postalischen Anschrift, der Telefonnummer, Faxnummer und e-mail-Adresse aufzuführen.

#### **9. Sonderdrucke**

Von jedem Original-Beitrag erhalten die Autoren 50 Sonderdrucke gratis, weitere gegen Bezahlung.

#### **10. Korrekturversand**

Der erstgenannte Verfasser erhält vom Verlag die Korrekturabzüge. Änderungen gegenüber dem Manuskript werden auf Kosten des Autors durchgeführt.

Die Korrekturabzüge sind bitte  
*innerhalb von 7 Tagen*

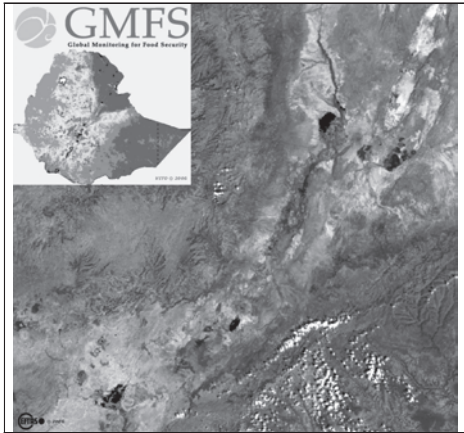
an den Verlag zurückzusenden:

E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele und Obermiller) Johannesstraße 3A, D-70176 Stuttgart

Siehe auch: [www.dgpf.de/Autorenhinweise](http://www.dgpf.de/Autorenhinweise)

## Zum Titelbild

### GMFS Global Monitoring for Food Security



**Frame image:** MERRIS FR (06.11.2005 – visualized 13-7-5) kindly provided by European Space Agency.

**Inlet figure:** Dry Matter Productivity DMP® generated on basis of Medium resolution Satellite images by VITO © 2006.

GMFS (Global Monitoring for Food Security) is a GMES Service Element project, part of the ESA contribution to the EU/ESA GMES (Global Monitoring for Environment and Security) Programme. It aims to establish an operational service for crop monitoring in support of Food Security Monitoring to serve policy makers and operational users by providing spatial information on variables affecting Food Security.

The GMFS project was already part of the Stage 1 of the ESA Earthwatch GMES services Element “Service Consolidation Actions”, and is continued since October 2005 as part of the Stage 2 of the ESA Earthwatch GMES services Element – “Scaling Up Consolidated GMES Services”. It is scheduled to run up to September 2008 for 3 years.

The GMFS Stage II consortium consists of 12 European based companies and institutes and is lead by VITO Flemish institute for technological research. Twelve partners

are involved in the project: VITO (B) as Prime Contractor, ESYS consulting (UK), GIM (B), TRASYS SPACE (B), SARMAP (CH), Synoptics (NL), AVIA-GIS (B), ULG (B), ITA (IT), FMA (IT), EARS (nl) and EFTAS (D).

EFTAS will coordinate the regional implementation of the GMFS activities in East African countries and is responsible for the regional user liaison, in particular with the regional centre RCMRD (Regional Centre for Mapping of Resources for Development) to link the European base activities from the GMFS service providers with the activities implemented on the ground by the various institutes, provide a clear communication channel on technical developments and requirements to produce the products and to support the regional centre’s mandates.

Main objectives of GMFS are as support system for existing early warning systems:

- to improve the provision of operational and sustainable information services,
- to provide advanced crop information derived from Earth Observation data,
- to assist food aid and food security decision makers at the local to global level,
- to contribute to the transparency of the production, management and distribution of agriculture.

GMFS is a mostly satellite-based data support service for existing early warning systems providing advanced crop information (specifically production estimates, based on area and yield indicators) derived from earth observation data, supplemented by the use of agro-meteorological models. The GMFS service is essentially based on the integration of generic (i. e. Vegetation Index, Dry Matter Productivity ®) and specific (i. e. yield, acreage, etc.) products interfered from the synergy between small scale and large scale – between low and medium (i. e. ASAR WS, MERRIS, MODIS) as well as high resolution (i. e. ASAR AP, SPOT) Earth Observa-

tion data and ground based information. The ultimate goal is to identify and assess food in secure areas and populations and to quantify their level of vulnerability with particular emphasis on food security.

In the frame image on the front page is the Ethiopian rift valley in the north eastern area of Addis Ababa shown with a MERIS FR medium resolution satellite image (300m pixel size) recorded on 6<sup>th</sup> of November 2005 (visualized: R: 13, G: 7; B: 5).

The inset figure shows the DMP® generated on basis of Medium resolution satellite images by VITO from whole Ethiopia,

ranging from red to green colours, from no or low dry matter production to high production with more than 200 kg/DM/ha/day.

For more information see [www.gmfs.info](http://www.gmfs.info).

CARSTEN HAUB (EFTAS), Fernerkundung  
Technologietransfer GmbH

Ostmarkstrasse 92, D-48145 Münster  
VITO Flemish institute for technological re-  
search, Boeretang 200, B-2400 Mol, Bel-  
gium

European Space Agency, Via Galileo Galilei,  
I-00044 Frascati (Rome), Italien

## Neuerscheinungen

MARCO NEUBERT, 2006: Bewertung, Verarbeitung und segmentbasierte Auswertung sehr hoch auflösender Satellitenbilddaten vor dem Hintergrund landschaftsplanerischer und landschaftsökologischer Anwendungen. – In: Csaplovics, E. (Hrsg.): Fernerkundung und angewandte Geoinformatik, Band 1, Rhombos-Verlag, Berlin, 180 S., ISBN 3-938807-20-2, Bestellung unter: [www.rhombos.de](http://www.rhombos.de), € 30,-.

JOSEF STROBL, THOMAS BLASCHKE & GERALD GRIESEBNER, (Hrsg.), 2006. Angewandte Geoinformatik 2006. Beiträge zum 18. AGIT-Symposium Salzburg. XVI, 814 S. Kartoniert. ISBN 10: 3-87907-437-2 ISBN 13: 978-3-87907-437-2. Herbert Wichmann Verlag, Hüthig GmbH & Co. KG, Heidelberg. [www.huethig.de](http://www.huethig.de), € 102,-.

THOMAS JEKEL, ALFONS KOLLER, & JOSEF STROBL, (Hrsg.), 2006: Lernen mit Geoinformation. VIII, 160 S. Kartoniert. ISBN 10: 3-87907-442-9 ISBN 13: 978-3-87907-442-6. Herbert Wichmann Verlag, Hüthig GmbH & Co. KG, Heidelberg. [www.huethig.de](http://www.huethig.de), € 24,80.

ERICH BUHMANN, STEPHEN M. ERVIN, JAN JØRGENSEN & JOSEF STROBL, 2006: Trends in Knowledge-Based Landscape Modeling.

Proceedings at Anhalt University of Applied Sciences 2006. XII, 172 pages. Softcover. ISBN 10: 3-87907-439-9 ISBN 13: 978-3-87907-439-6. Herbert Wichmann Verlag, Hüthig GmbH & Co. KG, Heidelberg. [www.huethig.de](http://www.huethig.de), € 40,-.

KARL HENNERMANN, 2006: Kartographie und GIS. Eine Einführung. ca. 144 S. mit ca. 66 farb. Abb. Gebunden. Wissenschaftliche Buchgesellschaft WBG, Hindenburgstr. 40, 64295 Darmstadt, [www.wbg-darmstadt.de](http://www.wbg-darmstadt.de). ISBN-10: 3-354-19692-9, ISBN-13: 978-3-354-19692-0. € 27,90

SVEN-HENRIK KLEBER, 2006: Komponentenbasierte Anwendungsentwicklung mit GeoMedia.. X, 222 S. Kartoniert. ISBN 10: 3-87907-441-0 ISBN 13: 978-3-87907-441-9. Herbert Wichmann Verlag, Hüthig GmbH & Co. KG, Heidelberg. [www.huethig.de](http://www.huethig.de), € 42,-.

WILFRIED LINDER, 2006: Digital Photogrammetry. A Practical Course. 2<sup>nd</sup> ed. 53 figs. XIV, 214 pp. Hardcover. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York. 3-540-29152-0. € 79,95 (The Euro price is a net price subject to local VAT, e. g. in Germany 7% VAT for books and 16% for electronic products).

- THOMAS LUHMANN & CHRISTINA MÜLLER, 2006: Photogrammetrie – Laserscanning – Optische 3D-Messtechnik. Beiträge der Oldenburger 3D-Tage 2006. XI, 370 S. Kartoniert. ISBN 10: 3-87907-436-6 ISBN 13: 978-3-87907-436-5. Herbert Wichmann, Hüthig Fachverlage, Heidelberg. www.huethig.de, € 56,-.
- MICHAEL HERTER & BJÖRN KOOS, 2006: Java und GIS. Programmierung – Beispiele – Lösungen. IX, 318 S. mit CD-ROM. Kartoniert. ISBN 10: 3-87907-379-1 ISBN 13: 978-3-87907-379-5. Herbert Wichmann Verlag, Hüthig GmbH & Co. KG, Heidelberg. www.huethig.de, € 62,-.
- ECKHARDT SEYFERT (Hrsg.), 2006: Geoinformatik und Erdbeobachtung. Vorträge 26. Wiss.-Techn. Jahrestagung der DGPF e.V. vom 11. bis 13.9.2006 in Berlin. Publikationen der DGPF, Bd. 15 mit CD ROM, 358 S., ISSN 0942-2870. Zu beziehen durch: Geschäftsstelle der DGPF c/o EFTAS GmbH, Ostmarkstr. 92, 48145 Münster, Tel.: 0251-133 070, Fax: 0251-133 0733, e-mail: klaus.komp@eftas.com. € 30,-
- SANDRA ECKERT, 2006: A Contribution to Sustainable Forest Management in Patagonia. Object-oriented Classification and Forest Parameter Extraction based on ASTER and Landsat ETM+ Data. 168 S. Verlag Geographisches Institut der Universität Zürich. Remote Sensing Series 45.
- RAINER SANDAU, 2006: International Study on Cost-Effective Earth Observation Missions. 160 S. A.A. Balkema Publishers, a member of Taylor & Francis Group plc. P.O. Box 447, NL-2300 AK Leiden, e-mail: Pub.NL@tandf.co.uk. ISBN 10: 0-415-39136-9, ISBN 13: 9-78-0-415-39136-8. Copyright: DLR Berlin
- ROLAND BAUMHAUER, 2006: Geomorphologie, Reihe: Geowissen kompakt. 144 S. mit 34 Abb., Kartoniert. Wissenschaftliche Buchgesellschaft WBG, Hindenburgstr. 40, 64295 Darmstadt, www.wbg-darmstadt.de. ISBN-10: 3-534-15635-8 ISBN-13: 978-3-534-15635-1. € 19,90
- KARL-PETER TRAUB & JÖRN KOHLUS, (Hrsg.), 2006: GIS im Küstenzonenmanagement. VIII, 320 S. Kartoniert. ISBN 10: 3-87907-438-0, ISBN 13: 978-3-87907-438-9. Herbert Wichmann Verlag, Hüthig GmbH & Co. KG, Heidelberg, www.huethig.de € 46,-
- BERTHOLD WITTE & HUBERT SCHMIDT, 2006: Vermessungskunde und Grundlagen der Statistik für das Bauwesen. 6., überarb. Aufl. XIII, 678 S. Kartoniert. ISBN 10: 3-87907-435-6, ISBN 13: 978-3-87907-435-8. Herbert Wichmann Verlag, Hüthig GmbH & Co. KG, Heidelberg www.huethig.de, € 29,80.
- THOMAS LUHMANN, STUART ROBSON, STEPHAN KYLE & IAN HARLEY, 2006: Close Range Photogrammetry. Principles, Techniques and Applications. 528 pp, 240 mm x 170 mm, hardback, 2 colours, liberally illustrated. Whittles Publishing Scotland, UK. KW6 6EY. e-mail: info@whittlespublishing.com www.whittlespublishing.com ISBN 1-870325-50-8, € 60,-
- WOLFGANG FÖRSTNER & RICHARD STEFFEN, (Edit.), 2006: Symposium of ISPRS Commission III - Photogrammetric Computer Vision PCV'06. 274 S., ISSN 1682-1750. Available from GITC bv, P.O.Box 112, NL-8530 AC Lemmer. e-mail: mailbox@gitc.nl www.gitc.nl